

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004年11月18日 (18.11.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/100236 A1

(51) 国際特許分類⁷:
G03F 7/20, G21K 1/06, 5/02, G02B 5/08

(SUZUKI, Kenji) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 株式会社ニコン知的財産部内 Tokyo (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/006416

(74) 代理人: 古谷 史旺 (FURUYA, Fumio); 〒1600023 東京都新宿区西新宿1丁目19番5号 第2明宝ビル9階 Tokyo (JP).

(22) 国際出願日: 2004年5月6日 (06.05.2004)

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2003-131440 2003年5月9日 (09.05.2003) JP

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).

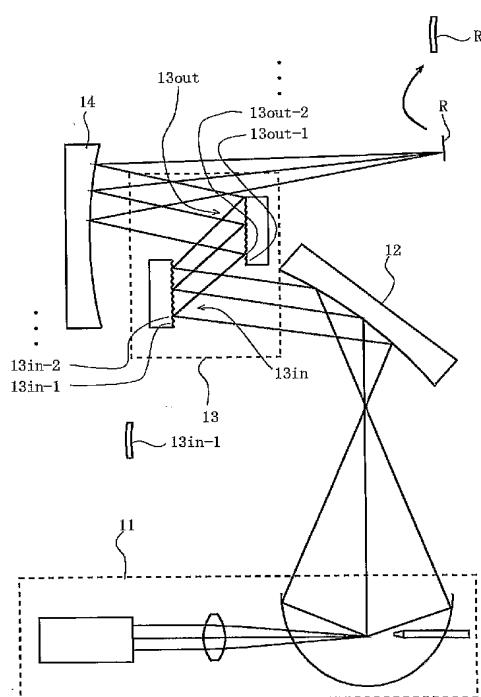
(72) 発明者: および

(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 鈴木 健司

[続葉有]

(54) Title: ILLUMINATION OPTICAL SYSTEM, PROJECTION/EXPOSURE DEVICE, MICRO DEVICE MANUFACTURING METHOD, ILLUMINATION DEVICE MANUFACTURING METHOD, PROJECTION/EXPOSURE DEVICE ADJUSTMENT METHOD, AND PROJECTION/EXPOSURE DEVICE MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 照明光学系、投影露光装置、マイクロデバイスの製造方法、照明装置の製造方法、投影露光装置の調整方法、及び投影露光装置の製造方法



(57) Abstract: It is possible to reduce the slightest illumination irregularities generated after assembling an optical system. For this, an illumination optical system includes a light source (11) emitting extreme ultra-violet light, a collimator (12), a Fly's eye mirror (13), and a capacitor (14) which are successively arranged. A predetermined illumination area in the emission side of the capacitor (14) is subjected to Köhler illumination. At least one of the unit mirrors constituting the Fly's eye mirror (13) is a correction mirror having reflectivity irregularities for correcting a part or all of the illumination irregularities in the aforementioned illumination area.

(57) 要約: 本発明は、光学系の組み立て後に生じる僅かな照明ムラまでも低減することを目的とする。そのために、本発明の照明光学系は、極端紫外光を射出する光源(11)、コリメータ(12)、フライアイミラー(13)、及びコンデンサ(14)を順に配置し、そのコンデンサ(14)の射出側における所定の照明領域をケーラー照明する照明光学系において、前記フライアイミラー(13)を構成する複数の単位ミラーのうち少なくとも一つを、前記照明領域の照明ムラの一部又は全部を補正するための反射率ムラを有した補正ミラーとする。

WO 2004/100236 A1



(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ヨーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:
— 國際調査報告書

明細書

照明光学系、投影露光装置、マイクロデバイスの製造方法、
照明装置の製造方法、投影露光装置の調整方法、及び投影露光装置の製造方法

5 技術分野

本発明は、投影露光装置などに搭載される照明光学系に関する。また、本発明は、投影露光装置、マイクロデバイスの製造方法、照明装置の製造方法、投影露光装置の調整方法、及び投影露光装置の製造方法に関する。

10 背景技術

投影露光装置は、半導体の集積密度を向上させるため、露光波長が短波長化される傾向にある。

それに適用される光源としては、水銀の i 線（波長 365.015 nm）、KrF エキシマレーザ（波長 248 nm）、ArF エキシマレーザ（波長 193 nm）、F₂ エキシマレーザ（波長 157 nm）などが挙げられる。さらには、極端紫外光（以下、Extreme Ultra Violet の略語により「EUV 光」と称す。）、特に波長 50 nm 以下の EUV 光を光源として用いることも検討されている。

因みに、波長 50 nm 以下の EUV 光を用いる場合、光学系の少なくとも一部を反射型に構成する必要が生じる（例えば、特開 2000-349009 号公報 20 に記載された照明光学系など。）。

従来、照明光学系の光学設計の分野では照明の均一性を図るために相応の研究がなされているが、このような EUV 光使用の照明光学系においても、同様にその性能が要求される。

しかも、EUV 光使用の照明光学系には他の照明光学系よりも高いスペックが要求されるので、その光学設計後、実際に照明光学系を組み立てたときに生じる僅かな照明ムラについてまでも低減することが期待される。

ここで、照明ムラとは、例えば、被照明面（レチクル面、露光面としてのウエハ面等）にて発生する不均一な照明分布や不均一な光強度分布等を意味する。これにより、例えば、露光装置においては、露光ムラが引き起こされる。

発明の開示

本発明は、光学系の組み立て後に生じる僅かな照明ムラまでもが低減された照明光学系を提供することを目的とする。

5 また、本発明は、露光ムラの少ない高性能な投影露光装置を提供することを目的とする。

また、本発明は、高性能なマイクロデバイスを製造することのできるマイクロデバイスの製造方法を提供することを目的とする。

10 また、本発明は、照明ムラの低減された高性能な照明装置を製造することのできる照明装置の製造方法を提供することを目的とする。

また、本発明は、投影露光装置の露光ムラを低減することのできる投影露光装置の調整方法を提供することを目的とする。

また、本発明は、露光ムラの少ない高性能な投影露光装置を製造することのできる投影露光装置の製造方法を提供することを目的とする。

15 本発明の照明光学系は、極端紫外光を出射する光源、コリメータ、フライアイミラー、及びコンデンサを順に配置し、そのコンデンサの射出側における所定の照明領域をケーラー照明する照明光学系において、前記フライアイミラーを構成する複数の単位ミラーのうち少なくとも一つは、前記照明領域の照明ムラの一部又は全部を補正するための反射率ムラを有した補正ミラーであることを特徴とする。

20 好ましくは、前記複数の単位ミラーの個数に対する前記補正ミラーの個数の比は、前記照明ムラの程度に応じた値に調整されている。

また、好ましくは、前記複数の単位ミラーには、それぞれ反射率向上用の多層膜が設けられており、前記補正ミラーの前記多層膜の層数には、前記反射率ムラを実現するための分布が付与されている。

また、好ましくは、前記複数の単位ミラーは、入射光の斜入射角度が全反射角度となる姿勢でそれぞれ配置されており、前記補正ミラーの反射面の表面構造には、前記反射率ムラを実現するための分布が付与されている。

さらに、好ましくは、前記光源が出射する前記極端紫外光は、波長 50 nm 以

下の極端紫外光であり、前記複数の単位ミラーは、Ru又はMoの材料からなり、かつ前記斜入射角度が15°以下となる姿勢で配置される。

本発明の別の照明光学系は、極端紫外光を出射する光源、コリメータ、フライアイミラー、及びコンデンサを順に配置し、そのコンデンサの射出側における所定の照明領域をケーラー照明する照明光学系において、前記フライアイミラーを構成する複数の単位ミラーのうち少なくとも一つの入射側には、前記照明領域の照明ムラの一部又は全部を補正するための透過率ムラを有した補正フィルタが配置されることを特徴とする。

好ましくは、前記複数の単位ミラーの個数に対する前記補正フィルタの個数の比は、前記照明ムラの程度に応じた値に調整されている。

また、好ましくは、前記補正フィルタの厚さには、前記透過率ムラを実現するための分布が付与されている。

また、好ましくは、前記複数の単位ミラーは、入射光の斜入射角度が全反射角度となる姿勢でそれぞれ配置されている。

さらに好ましくは、前記光源が出射する前記極端紫外光は、波長50nm以下の極端紫外光であり、前記複数の単位ミラーは、Ru又はMoの材料からなり、かつ前記斜入射角度が15°以下となる姿勢で配置される。

また、好ましくは、前記補正ミラーは、前記照明領域を照明する互いに交差する二方向に偏光する偏光光のうちの少なくとも一方向に偏光する偏光光より生ずる照明ムラを補正する。

また、好ましくは、前記補正ミラーは、前記照明領域を照明する第1偏光成分による照明ムラを補正するための第1偏光成分に対する第1反射率分布特性と、前記照明領域にて前記第1偏光成分と交差する方向に偏光する第2偏光成分の照明ムラを補正するための第2偏光成分に対する第2反射率分布特性を有している。

また、好ましくは、前記補正フィルタは、前記照明領域を照明する第1偏光成分による照明ムラを補正するための第1偏光成分に対する第1透過率分布と、前記照明領域にて前記第1偏光成分と交差する方向に偏光する第2偏光成分の照明ムラを補正するための第2偏光成分に対する第2透過率分布とを有している。

さらに好ましくは、前記補正フィルタは、前記照明領域を照明する第1偏光成

分による照明ムラを補正するための第1偏光成分に対する第1透過率分布を有する第1フィルタ部材と、前記照明領域にて前記第1偏光成分と交差する方向に偏光する第2偏光成分の照明ムラを補正するための第2偏光成分に対する第2透過率分布を有する第2フィルタ部材とを含む。

5 本発明の別の照明光学系は、所定の光を導光して所定の照明領域を照明するための複数の光学部材と、前記照明領域における偏光光の不均一な光強度分布により発生する照明ムラを補正する補正手段とを含むことを特徴とする。

また、好ましくは、前記補正手段は、前記照明領域を照明する互いに交差する二方向に偏光する偏光光のうちの少なくとも一方向に偏光する偏光光より生ずる
10 照明ムラを補正する。

また、好ましくは、前記補正手段の光学特性は、前記照明領域を照明する第1偏光成分の光の照明ムラを補正すると共に、前記照明領域を照明する前記第1偏光成分とは交差する方向に偏光する第2偏光成分の光の照明ムラを補正する特性に設定されている。

15 さらに好ましくは、前記補正手段の光学特性は、前記照明ムラを補正すると共に、前記第1偏光成分と前記第2偏光成分との強度差を補正する特性に設定されている。

また、好ましくは、前記補正手段は、前記照明領域を照明する光の第1偏光成分の照明ムラを補正する光学特性を持つ第1補正部材と、その光の第2偏光成分
20 の照明ムラを補正する光学特性を持つ第2補正部材とを含む。

また、好ましくは、前記補正手段は、前記照明領域と光学的に共役な位置、又はその位置から所定量ずれた位置に配置される。

また、好ましくは、前記複数の光学部材の少なくとも1つは、複数の単位ミラーからなるフライアイミラーであり、前記補正手段は、前記複数の単位ミラーの
25 少なくとも1つに設けられる。

本発明の別の照明光学系は、波長50nm以下の極端紫外光を導光して所定の照明領域を照明するための複数の反射部材と、前記照明領域と光学的に共役な位置、又はその位置から所定量ずれた位置に配置され、かつ前記照明領域の照明ムラを補正する光学特性を持つ補正手段とを含み、前記複数の反射部材の反射面の

それぞれには、反射率向上用の多層膜が形成されていることを特徴とする。

本発明の別の照明光学系は、波長 50 nm 以下の極端紫外光を導光して所定の照明領域を照明するための複数の反射部材と、前記照明領域と光学的に共役な位置、又はその位置から所定量ずれた位置に配置され、かつ前記照明領域の照明ムラを補正する光学特性を持つ補正手段とを含み、前記複数の反射部材の少なくとも 1 つは、入射光の斜入射角度が全反射角度となる姿勢で配置されていることを特徴とする。

好ましくは、前記複数の反射部材の少なくとも 1 つは、複数の単位ミラーからなるフライアイミラーである。

本発明の別の照明光学系は、所定の光を導光して所定の照明領域を照明するための複数の反射部材と、前記照明領域の照明ムラを補正する光学特性を持つ補正手段とを含む照明光学系において、前記補正手段の光学特性は、前記複数の反射部材の少なくとも 1 つの反射率分布の情報を考慮して設定されたものであることを特徴とする。

好ましくは、前記補正手段の光学特性は、前記反射率分布の情報と共に、前記照明ムラの実測情報を考慮して設定されたものである。

また、好ましくは、前記複数の反射部材の少なくとも 1 つは、複数の単位ミラーからなるフライアイミラーであり、前記補正手段の光学特性は、前記複数の単位ミラーの少なくとも 1 つの反射率特性の情報を考慮して設定されたものであり、前記補正手段は、前記複数の単位ミラーの少なくとも 1 つに設けられる。

また、好ましくは、前記複数の反射部材の反射面のそれぞれには、反射率向上用の多層膜が形成されている。

また、好ましくは、前記複数の反射部材の少なくとも 1 つは、入射光の斜入射角度が全反射角度となる姿勢で配置されている。

また、好ましくは、前記補正手段は、前記照明領域における偏光光の不均一な光強度分布により発生する照明ムラを補正する。

さらに好ましくは、前記補正手段の光学特性は、前記照明領域を照明する第 1 偏光成分の光の強度ムラを補正すると共に、前記照明領域を照明する前記第 1 偏光成分とは交差する方向に偏光する第 2 偏光成分の光の強度ムラを補正する特性

に設定されている。

また、好ましくは、前記補正手段の光学特性は、前記照明ムラを補正すると共に、前記第1偏光成分と前記第2偏光成分との強度差を補正する特性に設定されている。

5 また、好ましくは、前記補正手段は、前記照明領域を照明する光の第1偏光成分の照明ムラを補正する光学特性を持つ第1補正手段と、その光の第2偏光成分の照明ムラを補正する光学特性を持つ第2補正手段とを含む。

本発明の投影露光装置は、マスクを第1面に保持するマスクステージと、感光性基板を第2面に保持する基板ステージと、前記第1面の像を前記第2面に投影する投影光学系と、前記第1面を照明することによりその第1面と前記第2面とを同時に照明する本発明の何れかの照明光学系とを含み、前記照明光学系は、前記照明領域としての前記第1面又は前記第2面の照明ムラを補正するよう予め設定されていることを特徴とする。

10 本発明のマイクロデバイスの製造方法は、本発明の投影露光装置を用いてマイクロデバイスを製造することを特徴とする。

本発明の別の投影露光装置は、マスクを照明する照明系と、マスクのパターンを感光性基板に投影する投影系とを有し、前記照明系は、前記マスク面または前記感光性基板面にて偏光する光による光強度分布の不均一性に起因して発生する照明ムラを補正する補正手段を含むことを特徴とする。

15 20 好ましくは、前記補正手段は、互いに交差する二方向に偏光する偏光光のうちの少なくとも一方向に偏光する偏光光により生ずるムラを補正する。

さらに好ましくは、前記補正手段は、互いに交差する二方向に偏光する第1及び第2偏光成分の光のうちの一方の第1偏光成分の光による照明ムラを補正する第1補正部材、前記互いに交差する二方向に偏光する第1及び第2偏光成分の光のうちの他方の第2偏光成分の光による照明ムラを補正する第2補正部材とを含む。

さらに好ましくは、前記補正手段は、前記第1偏光成分の光と前記第2偏光成分の光との光強度差を補正する第3補正部材を含む。

本発明の照明装置の製造方法は、光を被照明領域に導く照明光学系を準備する

工程と、前記被照射領域での偏光光の不均一な光強度分布によるムラを補正する工程とを有することを特徴とする。

好ましくは、前記補正工程は、互いに交差する二方向に偏光する偏光光のうちの少なくとも一方向に偏光する偏光光より生ずるムラを補正する工程を含む。

5 また、好ましくは、前記補正工程は、互いに交差する二方向に偏光する第1及び第2偏光成分の光のうちの一方の第1偏光成分の光によるムラを補正する第1補正工程と、前記互いに交差する二方向に偏光する第1及び第2偏光成分の光のうちの他方の第2偏光成分の光によるムラを補正する第2補正工程とを含む。

10 さらに好ましくは、前記補正工程は、前記第1偏光成分の光と前記第2偏光成分の光との光強度差を補正する第3補正工程を含む。

また、好ましくは、前記照明光学系は、50nm以下の光を前記被照明領域に導く。

15 本発明の投影露光装置の調整方法は、マスクを照明する照明系とマスクのパターン像を感光性基板に投影する投影系とを備えた投影露光装置を準備する工程と、前記マスク面または前記感光性基板面での偏光光の不均一な光強度分布によるムラを補正する工程とを有することを特徴とする。

好ましくは、前記補正工程は、互いに交差する二方向に偏光する偏光光のうちの少なくとも一方向に偏光する偏光光より生ずるムラを補正する工程を含む。

20 また、好ましくは、前記補正工程は、互いに交差する二方向に偏光する第1及び第2偏光成分の光のうちの一方の第1偏光成分の光によるムラを補正する第1補正工程と、前記互いに交差する二方向に偏光する第1及び第2偏光成分の光のうちの他方の第2偏光成分の光によるムラを補正する第2補正工程とを含む。

さらに好ましくは、前記補正工程は、前記第1偏光成分の光と前記第2偏光成分の光との光強度差を補正する第3補正工程を含む。

25 また、好ましくは、前記照明系は、50nm以下の光で前記マスクを照明する。

本発明の別のマイクロデバイスの製造方法は、本発明の投影露光装置の調整方法によって調整された投影露光装置を用いたマイクロデバイスの製造方法において、前記照明系を用いて前記マスクを照明する工程と、前記投影系を用いて前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する工程とを含むことを特徴する。

本発明の投影露光装置の製造方法は、本発明の何れかの投影露光装置の調整方法を用いて投影露光装置を製造することを特徴とする。

図面の簡単な説明

5 図1は、第1実施形態の照明光学系の概略構成図である。

図2は、補正前のレチクル面Rの照明ムラを説明する図である。

図3は、フライアイミラー13の入射端13inを示す図である。

図4は、補正ミラー13aを説明する図である。

図5は、補正ミラー13bを説明する図である。

10 図6は、補正ミラー13cを説明する図である。

図7は、補正ミラー13a, 13b, 13cの反射率分布を説明する図である。

図8は、補正後のレチクル面Rの照明強度分布を示す図である。

図9は、微調整ミラー13a'を説明する図である。

図10は、第1実施形態の変形例を説明する図である。

15 図11は、第2実施形態の照明光学系の概略構成図である。

図12は、コリメータミラー22を説明する図である。

図13は、コリメータミラー22'を説明する図である。

図14は、フライアイミラー23を説明する図である。

図15は、フライアイミラー23の入射端23inを構成する単位ミラー23

20 in-1, 23in-2, ···の反射面の形状を説明する図である。

図16は、補正フィルタFaを説明する図である。

図17は、補正フィルタFbを説明する図である。

図18は、補正フィルタFcを説明する図である。

図19は、第2実施形態の変形例を説明する図である。

25 図20は、第3実施形態の投影露光装置の構成図である。

図21は、第4実施形態の投影露光装置の露光ムラを示す図である。

図22は、第4実施形態の照明光学系の構成を説明する図である。

図23は、フィルタ部fs, fp, fdの透過率分布を示す図である。

図24は、第4実施形態の照明光学系の変形例を説明する図である（補正フィ

ルタの数などを変えた変形例)。

図25は、第4実施形態の照明光学系の変形例を説明する図である。(a)は、フィルタ部の数を変えた変形例、(b)はフィルタFの姿勢を変えた変形例である。

5 図26は、第4実施形態の照明光学系の変形例を説明する図である(補正フィルタFに代えて補正板Bを使用した変形例)。

図27は、第4実施形態の照明光学系の変形例を説明する図である(刻線パターン f_s'' , f_p'' を設けてなる補正フィルタ F_s'' , F_p'' を使用した変形例)。

図28は、第5実施形態の照明光学系の製造方法のフローチャートである。

10 図29は、ステップS1を説明する図である。

図30は、単位ミラー $13in-i$ と入射光との関係を示す図である。

図31は、第6実施形態のマイクロデバイスの製造方法のフローチャートである。

図32は、液晶表示素子を製造する方法のフローチャートである。

15 図33は、単位ミラー $13in-i$ の反射面に装着される補正板B'を説明する図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面に基づいて本発明の実施形態について説明する。

20 [第1実施形態]

図1、図2、図3、図4、図5、図6、図7、図8、図9、図10に基づいて本発明の第1実施形態について説明する。

図1は、本実施形態の照明光学系の概略構成図である。

この照明光学系は、主に反射型の投影光学系を備えた投影露光装置に適用され、25 その投影露光装置のレチクル面R(以下、円弧フィールドとする。)をケーラー照明するものである。

この照明光学系の光源11は、EUV光(以下、波長50nm以下のEUV光とする。)を射出するレーザプラズマ光源である。

照明光学系には、この光源11の射出側に、コリメータミラー12、フライア

イミラー 13、及びコンデンサミラー 14 が順に配置される。

このうち、フライアイミラー 13 は、複数の単位ミラー 13_{in-1}, 13_{in-2}, . . . を並列配置してなる入射端 13_{in}、複数の単位ミラー 13_{out-1}, 13_{out-2}, . . . を並列配置してなる射出端 13_{out} を有する。

5 ここで、並列配置とは、入射光束のうち互いに異なる部分光束に対し個別に作用する配置であり、一方、直列配置とは、入射光束の全体に対し順に作用する配置である。

この構成の照明光学系において、光源 11 から射出した光束は、コリメータミラー 12 にて反射して平行光束化した後、フライアイミラー 13 の入射端 13_{in} 10 に入射する。

入射端 13_{in} を構成する各単位ミラー 13_{in-1}, 13_{in-2}, . . . から個別に射出した光束は、それぞれ集光しつつ射出端 13_{out} を構成する単位ミラー 13_{out-1}, 13_{out-2}, . . . に個別に入射する。

それら単位ミラー 13_{out-1}, 13_{out-2}, . . . にて反射した各光束は、コンデンサミラー 14 によって同一の位置（レチクル面 R 上）に導光され、重畳する。

このうち、フライアイミラー 13 の入射端 13_{in} を構成する単位ミラー 13_{in-1}, 13_{in-2}, . . . の反射面は、入射光束を集光するためにそれぞれ正の光学的パワーを有している（すなわち、凹面である。）。

20 また、これら単位ミラー 13_{in-1}, 13_{in-2}, . . . の反射面は、コリメータミラー 12 の側から見た外形がそれぞれレチクル面 R の相似形状（すなわち、円弧状）となるようその外形が整えられている（後述する図 3 参照）。

また、これら単位ミラー 13_{in-1}, 13_{in-2}, . . . を始めとする照明光学系内の各ミラーはそれぞれ、ガラス、セラミックス、金属などからなる基板上にモリブデン (Mo) 及びシリコン (Si) 等の異なった 2 種類の材料を繰り返し積層し、反射率向上用の多層膜を形成したものである。

次に、以上の構成の照明光学系の照明ムラの補正について説明する。

この照明光学系の光学設計も、従来通りレチクル面 R の照明ムラが低減されるようなされている。しかし、実際の組み立て後にレチクル面 R の照明強度分布を

測定すると、例えば図2に示すような照明ムラが生じている。

図2は、レチクル面Rの照明ムラを説明する図である。

図2において、レチクル面R内の領域E aは、照明強度が比較的高い明部であり、別の領域E b、E cは、照明強度が比較的低い暗部である。

5 以下、この図2に示すような照明ムラがレチクル面Rに生じている場合について説明する。

この照明ムラに応じて、本実施形態のフライアイミラー13には、次のとおり変更が加えられる。

図3は、フライアイミラー13の入射端13inを示す図である。

10 図3中に斜線で示すように、入射端13inを構成する複数の単位ミラー13in-1, 13in-2, …のうち一部は、補正ミラー13a又は補正ミラー13b又は補正ミラー13cに置換されている。

15 補正ミラー13a, 13b, 13cは、その反射面の形状は置換前の単位ミラー13in-1, 13in-2, …の反射面の形状（ここでは、凹面）と変わりない。但し、補正ミラー13aは、レチクル面Rの明部E aの照明強度を相対的に低減するための反射率ムラを有しており、補正ミラー13bは、レチクル面Rの暗部E bの照明強度を相対的に向上するための反射率ムラを有しており、補正ミラー13cは、レチクル面Rの暗部E cの照明強度を相対的に向上するための反射率ムラを有している。

20 図4は、補正ミラー13aを説明する図である。

図4（1）はこの補正ミラー13aの反射面の各位置に対応するレチクル面Rの各位置を示し、図4（2）は補正ミラー13aの反射面を示し、図4（3）は、図4（2）のII-II'線における補正ミラー13aの断面を示している。

25 なお、補正ミラー13aの表面（反射面）は実際には凹面だが、図4（3）の断面図では、簡単のため平面で表している（以下の図5、図6、図9、図19における断面図も同様。）。

図4（1）（2）に示すように、補正ミラー13aの反射面の領域13E aがレチクル面Rの明部E aに対応する。

図4（3）に示すように、補正ミラー13aの領域13E aにおける断面と、

それ以外の領域の断面とでは、互いに異なる。

領域 1 3 E a 以外の領域は、基板（ガラス、セラミックス、金属などからなる基板）1 3 a 1 上に反射率向上用の多層膜（モリブデン（M o）、シリコン（S i）、タンクステン（W）、クロム（C r）、炭素（C）、N i C r（ニッケルクロム）などからなる多層膜）1 3 a 2 が形成されているのに対し、領域 1 3 E a は、基板 1 3 a 1 のみからなる。

このような補正ミラー 1 3 a は、基板 1 3 a 1 の基板上に多層膜 1 3 a 2 を形成した後、領域 1 3 E a についてのみその多層膜 1 3 a 2 を除去することなどで製造できる。

10 或いは、基板 1 3 a 1 上の領域 1 3 E a にのみマスクをして多層膜 1 3 a 2 を形成し、その後、マスクを除去することなどでも製造できる。

図 5 は、補正ミラー 1 3 b を説明する図である。

図 5 (1) はこの補正ミラー 1 3 b の反射面の各位置に対応するレチクル面 R の各位置を示し、図 5 (2) は補正ミラー 1 3 b の反射面を示し、図 5 (3) は、15 図 5 (2) の II-II' 線における補正ミラー 1 3 b の断面を示している。

図 5 (1) (2) に示すように、補正ミラー 1 3 b の反射面の領域 1 3 E b がレチクル面 R の暗部 E b に対応する。

図 5 (3) に示すように、補正ミラー 1 3 b の領域 1 3 E b における断面と、それ以外の領域の断面とでは、互いに異なる。

20 領域 1 3 E b は、基板（ガラス、セラミックス、金属などからなる基板）1 3 b 1 上に反射率向上用の多層膜（モリブデン（M o）及びシリコン（S i）などからなる多層膜）1 3 b 2 が形成されているのに対し、それ以外の領域は、基板 1 3 b 1 のみからなる。

25 このような補正ミラー 1 3 b は、基板 1 3 b 1 の基板上に多層膜 1 3 b 2 を形成した後、領域 1 3 E b 以外の領域についてのみその多層膜 1 3 b 2 を除去することなどで製造できる。

或いは、基板 1 3 b 1 上の領域 1 3 E b 以外の領域にのみマスクをして多層膜 1 3 b 2 を形成し、その後、マスクを除去することなどでも製造できる。

図 6 は、補正ミラー 1 3 c を説明する図である。

図6(1)はこの補正ミラー13cの反射面の各位置に対応するレチクル面Rの各位置を示し、図6(2)は補正ミラー13cの反射面を示し、図6(3)は、図6(2)のII-II'線における補正ミラー13cの断面を示している。

図6(1)(2)に示すように、補正ミラー13cの反射面の領域13Ecが5レチクル面Rの暗部Ecに対応する。

図6(3)に示すように、補正ミラー13cの領域13Ecにおける断面と、それ以外の領域の断面とでは、互いに異なる。

領域13Ecは、基板(ガラス、セラミックス、金属などからなる基板)13c1上に反射率向上用の多層膜(モリブデン(Mo)及びシリコン(Si)などからなる多層膜)13c2が形成されているのに対し、それ以外の領域は、基板13c1のみからなる。

このような補正ミラー13cは、基板13c1の基板上に多層膜13c2を形成した後、領域13Ec以外の領域についてのみその多層膜13c2を除去することなどで製造できる。

15 或いは、基板13c1上の領域13Ec以外の領域にのみマスクをして多層膜13c2を形成し、その後、マスクを除去することなどでも製造できる。

図7は、補正ミラー13a, 13b, 13cのII-II'線における反射率分布を説明する図である。

図7(a)は、補正ミラー13aの反射率分布、図7(b)は、補正ミラー13bの反射率分布、図7(c)は、補正ミラー13cの反射率分布を示している。

図7(a)に示すように、補正ミラー13aにおいては、領域13Eaの反射率が他の領域の反射率と比較して低くなっている。

また、図7(b)に示すように、補正ミラー13bにおいては、領域13Ebの反射率が他の領域の反射率と比較して高くなっている。

25 また、図7(c)に示すように、補正ミラー13cにおいては、領域13Ecの反射率が他の領域の反射率と比較して高くなっている。

そして、フライアイミラー13の入射端13in(図3参照)における補正ミラー13aの個数は、予め測定されたレチクル面Rの明部Eaの明るさの程度(図2参照)に応じて最適化される。

また、フライアイミラー13の入射端13in（図3参照）における補正ミラー13bの個数は、予め測定されたレチクル面Rの暗部E_bの暗さの程度（図2参照）に応じて最適化される。

また、フライアイミラー13の入射端13in（図3参照）における補正ミラー13cの各々の個数は、予め測定されたレチクル面Rの暗部E_cの暗さの程度（図2参照）に応じて最適化される。

その結果、レチクル面Rの照明強度は、例えば図8に示すように均一化される。

（第1実施形態の変形例）

なお、本実施形態の照明光学系においては、上述した補正ミラー13aに加え、図9（1）に示すような微調整ミラー13a'を用いることにより、明部E_aの補正を高精度化してもよい。

図9（1）に示す微調整ミラー13a'は、上述した補正ミラー13aと同様の形状をしているが、領域13E_aにも多層膜13a₂が形成されている点において補正ミラー13aとは異なる。この領域13E_aの多層膜13a₂は、領域13E_a以外の多層膜13a₂よりも薄化されている。

この微調整ミラー13a'は、基板13a₁の基板上に多層膜13a₂を形成した後、領域13E_aについてのみその多層膜13a₂を薄化することなどで製造できる。

このような微調整ミラー13a'は、補正ミラー13aと同様の補正を少量だけ（少ない補正量で）行うものである。

よって、例えば、補正ミラー13aをn個配置すると過補正となり、補正ミラー13aを（n-1）個配置すると補正不足となるときに、（n-1）個の補正ミラー13aに加えて微調整ミラー13a'を用いれば、明部E_aの補正量を微調整できる。

なお、この微調整ミラー13a'は明部E_aの補正量を微調整するものであるが、暗部E_bの補正量を微調整する微調整ミラー13b'（図9（2））や、暗部E_cの補正量を微調整する微調整ミラー13c'（図9（3））を用いてもよい。

また、本実施形態の照明光学系においては、補正ミラー13bの反射面の最上

層（領域 1 3 E b）の周縁に相当する部分に図 1 0（1）のようなテープを形成してもよい。

テープを形成すると、図 7（b）に示した反射率分布カーブの段差部の傾斜が緩やかになり、滑らかな変化を示す照明ムラ分布（図 2 参照）に対応できるので、

5 照明強度（図 8 参照）のさらなる均一化が図られる。

なお、同様に、補正ミラー 1 3 a, 1 3 c の反射面の最上層にテープを形成してもよい。

また、本実施形態では、明部 E a を補正するための補正ミラーが 1 種類（補正ミラー 1 3 a のみ）しか用いられていないが、図 1 0（2）に示すように複数化 10 された（複数種類の）補正ミラー 1 3 a-1, 1 3 a-2, 1 3 a-3, … を用いてもよい。

図 1 0（2）に示す補正ミラー 1 3 a-1, 1 3 a-2, 1 3 a-3, … は、それぞれ領域 1 3 E a と略同じ位置に反射率の低い領域 1 3 E a-1, 1 3 E a-2, 1 3 E a-3, … を有しているが、領域 1 3 E a-1, 1 3 E a-2, 1 3 E a-3, … のサイズは若干異なる。

領域 1 3 E a-1, 1 3 E a-2, 1 3 E a-3, … の各々の外形は、レチクル面 R 上の照明ムラ分布（図 2 参照）の各等高線に相当する。

これらの補正ミラー 1 3 a-1, 1 3 a-2, 1 3 a-3, … を用いれば、図 7（b）に示した反射率分布カーブの段差部の傾斜を緩やかにし、滑らかな変 20 化を示す照明ムラ分布（図 2 参照）に対応できるので、照明強度（図 8 参照）のさらなる均一化が図られる。

なお、同様に、暗部 E b を補正するための補正ミラー 1 3 b や、暗部 E c を補正するための補正ミラー 1 3 c を複数種類にしてもよい。

また、本実施形態では、補正ミラー 1 3 a の領域 1 3 E a の反射率を相対的に 25 低下させるために、その領域 1 3 E a における多層膜 1 3 a 2 を除去又は薄化したが、その領域 1 3 E a における多層膜 1 3 a 2 上に反射率の低い材料を塗布したり、その領域 1 3 E a における多層膜 1 3 a 2 の表面に微細なキズを付けたりすることによっても、反射率を相対的に低下させることができる。

同様に、補正ミラー 1 3 b の領域 1 3 E b 以外の領域の反射率を相対的に低下

させるために、その領域における多層膜 1 3 b 2 上に反射率の低い材料を塗布したり、その領域における多層膜 1 3 b 2 の表面に微細なキズを付けたりしてもよい。

同様に、補正ミラー 1 3 c の領域 1 3 E c 以外の領域の反射率を相対的に低下させるために、その領域における多層膜 1 3 c 2 上に反射率の低い材料を塗布したり、その領域における多層膜 1 3 c 2 の表面に微細なキズを付けたりしてもよい。

また、本実施形態では、明部 E a 、暗部 E b 、暗部 E c を個別に補正する補正ミラー 1 3 a 、 1 3 b 、 1 3 c がそれぞれ用いられたが、図 10 (3) に示すように同時に二つ以上の部分（例えば、暗部 E b と暗部 E c ）を補正する補正ミラー 1 3 b c を用いることもできる。

また、本実施形態の照明光学系において、フライアイミラー 1 3 の入射端 1 3 i n を構成する単位ミラー 1 3 i n - 1 , 1 3 i n - 2 , ··· は互いに等価なので、補正ミラー 1 3 a , 1 3 b , 1 3 c に置換される単位ミラーは、原理的に 15 はどの単位ミラーであってもよい。但し、開口絞りの形状など、照明条件が変更可能である場合などには、その照明条件の変化に依らずに照明ムラの効果を持続させることのできるような最適な単位ミラーが選定されることが望ましい。

また、本実施形態では、補正ミラー 1 3 a , 1 3 b , 1 3 c に置換される単位ミラーは、フライアイミラー 1 3 の入射端 1 3 i n を構成する単位ミラー 1 3 i 20 n - 1 , 1 3 i n - 2 , ··· の何れかとされているが、射出端 1 3 o u t を構成する単位ミラー 1 3 o u t - 1 , 1 3 o u t - 2 , ··· の何れかとすることもできる。

但し、入射端 1 3 i n を構成する単位ミラー 1 3 i n - 1 , 1 3 i n - 2 , ··· とした方が、好ましい。なぜなら、それら単位ミラー 1 3 i n - 1 , 1 3 i n - 25 2 , ··· の反射面とレチクル面 R とは略共役であるので、補正ミラー 1 3 a の領域 1 3 E a のパターンがレチクル面 R の明部 E a のパターンの略相似形となり、補正ミラー 1 3 b の領域 1 3 E b のパターンがレチクル面 R の暗部 E b のパターンの略相似形となり、補正ミラー 1 3 c の領域 1 3 E c のパターンがレチクル面 R の暗部 E c のパターンの略相似形となるからである。

[第2実施形態]

図11、図12、図13、図14、図15、図16、図17、図18に基づいて本発明の第2実施形態について説明する。本実施形態は照明光学系の実施形態である。

5 図11は、本実施形態の照明光学系の概略構成図である。

この照明光学系は、主に反射型の投影光学系を備えた投影露光装置に適用され、その投影露光装置のレチクル面R（以下、円弧フィールドとする。）をケーラー照明するものである。

10 この照明光学系の光源21は、EUV光（以下、波長50nm以下のEUV光とする。）を射出する光源である。

この光源21としては、放電プラズマ光源などが適用可能である。

照明光学系には、この光源21の射出側に、コリメータミラー22、フライアイミラー23、及びコンデンサミラー24が順に配置される。

15 コリメータミラー22は、複数の単位ミラー22-1, 22-2, …を入射光束に対し並列配置している。

フライアイミラー23は、複数の単位ミラー23in-1, 23in-2, …を並列配置してなる入射端23in、複数の単位ミラー23out-1, 23out-2, …を並列配置してなる射出端23outを有する。

20 コンデンサミラー24は、複数の単位ミラー24-1, 24-2, …を入射光束に対し直列配置している。

そして、これらの単位ミラー22-1, 22-2, …, 23in-1, 23in-2, …, 23out-1, 23out-2, …, 24-1, 24-2, …の姿勢は、それらの反射面に対する入射光（ここでは、波長50nm以下のEUV光）の斜入射角度（反射面とのなす角度）がそれぞれ全反射角度となるよう設定される。

なお、理想的な全反射は反射率100%の反射であるが、実際には若干の光量ロスは許容せざるを得ないので、本明細書では、文言「全反射」を、「反射率80%以上の反射」とし、入射光が全反射する斜入射角度を特に、「全反射角度」という。

また、これらの単位ミラー $22-1, 22-2, \dots, 23_{in}-1, 23_{in}-2, \dots, 23_{out}-1, 23_{out}-2, \dots, 24-1, 24-2, \dots$ の反射面には、それぞれモリブデン(Mo)又はルテニウム(Ru)の材料が使用されている。

5 モリブデン(Mo)又はルテニウム(Ru)は何れも反射面に使用される代表的な材料であるが、何れも、入射光の斜入射角度が小さいほど反射率が高くなる。

モリブデン(Mo)の全反射角度は約 15° 以下、ルテニウム(Ru)の全反射角度は約 15° 以下であり、参考までに記すと、珪化モリブデン(MoS₂)の全反射角度は約 10° 以下である。

10 よって、反射面にそれぞれモリブデン(Mo)又はルテニウム(Ru)の材料が使用される本実施形態の単位ミラー $22-1, 22-2, \dots, 23_{in}-1, 23_{in}-2, \dots, 23_{out}-1, 23_{out}-2, \dots, 24-1, 24-2, \dots$ の全反射角度は比較的大きく、 15° 以下となる。

15 なお、本実施形態の照明光学系において、s p偏光間の反射率の違いによる強度差が問題となるような場合には、各反射面の一部又は全部に珪化モリブデン(MoS₂)の材料を用いるとよい。

図12は、本実施形態のコリメータミラー22を説明する図である。

図12(a)は光軸Zを含む平面でコリメータミラー22を切断した断面図、

図12(b)はコリメータミラー22の斜視図である。

20 図12(a)に示すように、コリメータミラー22は、互いに径及び広がり角度の異なる複数のスカート状の単位ミラー $22-1, 22-2, \dots$ を、その裾部(広がり部)を射出側に向けた状態で光軸Zの周りに配置している(図では、単位ミラーの数を3とした。)。

25 単位ミラー $22-1, 22-2, \dots$ は、それぞれ内側に反射面を有している。

入射光束を平行光束に変換するに当たり、周辺光線を偏向する単位ミラー(つまり径が大きく外側に配置された単位ミラー)ほど、その広がり角度が大きく採られる。

また、単位ミラー $22-1, 22-2, \dots$ の反射面は、図12(a)(b)

にも示すように、それぞれ円錐の部分側面の形状とされる。

このような単位ミラー 22-1, 22-2, … からなるコリメータミラー 22 は、光源 21 から互いに異なる射出角度で射出した光線を個別に平行光束に変換する。

5 なお、コリメータミラー 22 を図 13 に示すコリメータミラー 22' のように変形してもよい。

図 13 は、コリメータミラー 22' を説明する図である。

図 13 (a) は光軸 Z を含む平面でコリメータミラー 22' を切断した断面図、

図 13 (b) はコリメータミラー 22' の斜視図である。

10 コリメータミラー 22' の最外周に配置された単位ミラー 22-1 は、複数の単位ミラー 22-1-1, 22-1-2, … を直列配置している (図 13 では、直列配置される単位ミラーの数を 3 とした。)。

15 単位ミラー 22-1-1, 22-1-2, … のそれぞれは、図 12 に示したコリメータミラー 22 の単位ミラー 22-1 と同様、スカート状をしており、その反射面が円錐の部分側面の形状をしている。

単位ミラー 22-1-1, 22-1-2, 22-1-3, … は、光源 21 側からの入射光を順に反射することにより、その入射光を光軸 Z に平行な光線に変換して射出する。

20 なお、最外周以外の単位ミラー 22-2, 22-3, … のそれぞれについても同様に、複数の単位ミラーを直列配置させてもよい (22-2-1, 22-2-2, 22-2-3, 22-3-1, 22-3-2, 22-3-3)。

次に、フライアイミラー 23 (図 11 参照) について説明する。

25 上述したようにこのフライアイミラー 23 の単位ミラー 23 in-1, 23 in-2, …, 23 out-1, 23 out-2, … の姿勢は、それぞれ入射光の斜入射角度が全反射角度 (ここでは 15° 以下) となるよう設定される。

このため、フライアイミラー 23 の入射端 23 in と射出端 23 out とは、それら各単位ミラーによる反射光の進行方向に十分な間隔をおいて配置される。

図 14 は、フライアイミラー 23 を説明する図である。

図 14 (a) にはフライアイミラー 23 の入射端 23 in、図 14 (b) には

フライアイミラー23の射出端23outを示した。なお、図14(a)はコリメータミラー22の側から入射端23inを見た様子であり、図14(b)はコンデンサミラー24の側から射出端23outを見た様子である。

図15は、フライアイミラー23の入射端23inを構成する単位ミラー23in-1, 23in-2, …の反射面rの形状を説明する図である。

単位ミラー23in-1, 23in-2, …の反射面rは、それぞれ光軸Zに平行な中心軸を有しあつその頂点を射出側に向けた放物面の一部の形状をしている。

また、単位ミラー23in-1, 23in-2, …の反射面rの外形(図15右上参照)は、コリメータミラー22の側から見たときの形状(図15左上参照)がレチクル面Rの相似形状(すなわち、円弧状)となるよう整えられている。

次に、コンデンサミラー24(図11参照)について説明する。

コンデンサミラー24は、射出端23outから射出する光束を、単位ミラー24-1, 24-2, …にて順に反射し、射出端23outに形成された二次光源群をレチクル面R(ここでは、円弧フィールド)に重畠して投影する。

これら単位ミラー24-1, 24-2, …の少なくとも1つの反射面の形状は、トロイダル非球面である。

次に、以上の構成の照明光学系の照明ムラの補正について説明する。

この照明光学系の光学設計も、従来通りレチクル面Rの照明ムラが低減されるようなされている。しかし、実際の組み立て後にレチクル面Rの照明強度分布を測定すると、照明ムラが生じている。

以下、図11上部に示すように第1実施形態と同じパターンの照明ムラ(図2参照。明部Ea, 暗部Eb, Ecを有する。)が生じている場合について説明する。

この照明ムラに応じて、本実施形態のフライアイミラー23には、次のとおり変更が加えられる。

図14(a)の中に斜線で示したように、フライアイミラー23の入射端23inを構成する単位ミラー23in-1, 23in-2, …のうち一部の単

位ミラーは、その入射側が補正フィルタ F a, F b, F c の何れかにより覆われている。

補正フィルタ F a は、レチクル面 R の明部 E a の照明強度を相対的に低減するための透過率ムラを有しており、補正フィルタ F b は、レチクル面 R の暗部 E b の照明強度を相対的に向上するための透過率ムラを有しており、補正フィルタ F c は、レチクル面 R の暗部 E c の照明強度を相対的に向上するための透過率ムラを有している。

図 16 は、補正フィルタ F a を説明する図である。

図 16 (1) は補正フィルタ F a によって覆われた単位ミラー 23 in-a と 10 その補正フィルタ F a との位置関係を示し、図 16 (2) は補正フィルタ F a を コリメータミラー 22 の側から見たときの様子を示し、図 16 (3) は、図 16 (2) の II-II' 線における補正フィルタ F a の断面を模式的に示している。

図 16 (1) に示すように、補正フィルタ F a は、単位ミラー 23 in-a の 反射面 r に対する入射光束 (平行光束である。) に対し垂直に挿入される。

15 図 16 (2) に示すように、コリメータミラー 22 の側から補正フィルタ F a を見たときの外形は、コリメータミラー 22 の側から反射面 r を見たときの形状 (すなわち、円弧状) に一致している。

図 16 (2) において、補正フィルタ F a 上に符号 F E a で示す領域が、レチクル面 R の明部 E a に対応する。

20 図 16 (3) に示すように、補正フィルタ F a の領域 F E a における断面と、 それ以外の領域の断面とでは、互いに異なる。

領域 F E a 以外の領域はベリリウム (B e) の薄い層からなるのに対し、領域 F E a は、ベリリウム (B e) の厚い層からなる。

25 このような補正フィルタ F a は、ベリリウム (B e) からなる基板 F a 1 を用 意し、その基板 F a 1 の領域 F E a に対してのみベリリウム (B e) の層 F a 2 を重ねて形成することで製造できる。

図 17 は、補正フィルタ F b を説明する図である。

図 17 (1) は補正フィルタ F b によって覆われた単位ミラー 23 in-b と その補正フィルタ F b との位置関係を示し、図 17 (2) は補正フィルタ F b を

コリメータミラー22の側から見たときの様子を示し、図17(3)は、図17(2)のII-II'線における補正フィルタFbの断面を模式的に示している。

図17(1)に示すように、補正フィルタFbは、単位ミラー23in-bの反射面rに対する入射光束(平行光束である。)に対し垂直に挿入される。

5 図17(2)に示すように、コリメータミラー22の側から補正フィルタFbを見たときの外形は、コリメータミラー22の側から反射面rを見たときの形状(すなわち、円弧状)に一致している。

図17(2)において、補正フィルタFb上に符号FEbで示す領域が、レチクル面Rの暗部Ebに対応する。

10 図17(3)に示すように、補正フィルタFbの領域FEbにおける断面と、それ以外の領域の断面とでは、互いに異なる。

領域FEb以外の領域はベリリウム(Be)の厚い層からなるのに対し、領域FEbは、ベリリウム(Be)の薄い層からなる。

15 このような補正フィルタFbは、ベリリウム(Be)からなる基板Fb1を用意し、その基板Fb1の領域FEb以外の領域に対してのみベリリウム(Be)の層Fb2を重ねて形成することなどで製造できる。

図18は、補正フィルタFcを説明する図である。

20 図18(1)は補正フィルタFcによって覆われた単位ミラー23in-cとその補正フィルタFcとの位置関係を示し、図18(2)は補正フィルタFcをコリメータミラー22の側から見たときの様子を示し、図18(3)は、図18(2)のII-II'線における補正フィルタFcの断面を模式的に示している。

図18(1)に示すように、補正フィルタFcは、単位ミラー23in-cの反射面rに対する入射光束(平行光束である。)に対し垂直に挿入される。

25 図18(2)に示すように、コリメータミラー22の側から補正フィルタFcを見たときの外形は、コリメータミラー22の側から反射面rを見たときの形状(すなわち、円弧状)に一致している。

図18(2)において、補正フィルタFc上に符号FEcで示す領域が、レチクル面Rの暗部Ecに対応する。

図18(3)に示すように、補正フィルタFcの領域FEcにおける断面と、

それ以外の領域の断面とでは、互いに異なる。

領域 F E c 以外の領域はベリリウム (B e) の厚い層からなるのに対し、領域 F E c は、ベリリウム (B e) の薄い層からなる。

5 このような補正フィルタ F c は、ベリリウム (B e) からなる基板 F c 1 を用意し、その基板 F c 1 の領域 F E b 以外の領域に対してのみベリリウム (B e) の層 F c 2 を重ねて形成することなどで製造できる。

以上の構成の照明光学系では、補正フィルタ F a において、領域 F E a の透過率が他の領域の透過率と比較して低くなっている。

10 また、補正フィルタ F b において、領域 F E b の透過率が他の領域の透過率と比較して高くなっている。

また、補正フィルタ F c において、領域 F E c の透過率が他の領域の透過率と比較して高くなっている。

15 そして、フライアイミラー 2 3 の入射端 2 3 i n (図 3 参照) における補正フィルタ F a の個数は、予め測定されたレチクル面 R の明部 E a の明るさの程度 (図 2 参照) に応じて最適化される。

また、フライアイミラー 2 3 の入射端 2 3 i n (図 3 参照) における補正フィルタ F b の個数は、予め測定されたレチクル面 R の暗部 E b の暗さの程度 (図 2 参照) に応じて最適化される。

20 また、フライアイミラー 2 3 の入射端 2 3 i n (図 3 参照) における補正フィルタ F c の個数は、予め測定されたレチクル面 R の暗部 E c の暗さの程度 (図 2 参照) に応じて最適化される。

その結果、レチクル面 R の照明強度は、例えば図 8 に示したように均一化される。

(第 2 実施形態の変形例)

25 なお、本実施形態の補正フィルタ F a, F b, F c は、何れもベリリウムの 2 層構造からなるが、ベリリウムの 1 層構造からなり、かつ相対的に透過率を高める領域 (補正フィルタ F a においては領域 F E a 以外の領域、補正フィルタ F b においては領域 F E b, 補正フィルタ F c においては領域 F E c) に開口を設けた補正フィルタを用いることもできる。

なお、本実施形態の照明光学系においては、レチクル面Rの明部E aを補正するため補正フィルタF aが用いられているが、単位ミラー23in-1, 23in-2, ...の一部を、図19(a), 図19(a')に模式的に示す補正ミラー23a, 23a'に置換することによっても、同様の補正が可能である。

5 これらの補正ミラー23a, 23a'は、その反射面の形状は置換前の単位ミラー23in-1, 23in-2, ...の反射面の形状と変わりない。

但し、補正ミラー23aは、基板（ガラスやセラミックや金属などからなる）23a1上に順に、比較的反射率の低い珪化モリブデン(MoS₂)の層23a2、比較的反射率の高いモリブデン(Mo)又はルテニウム(Ru)の層23a10 3を積層し、モリブデン(Mo)又はルテニウム(Ru)23a3の層23a3のうち領域23Ea（レチクル面Rの明部Eaに対応する部分）を除去したものである。

また、補正ミラー23a'は、基板（ガラスやセラミックや金属などからなる）23a1上に順に、比較的反射率の高いモリブデン(Mo)又はルテニウム(Ru)の層23a3、比較的反射率の低い珪化モリブデン(MoS₂)の層23a2を積層し、珪化モリブデン(MoS₂)の層23a2のうち領域23Ea以外の部分を除去したものである。

また、本実施形態の照明光学系においては、レチクル面Rの暗部E bを補正するため補正フィルタF bが用いられているが、単位ミラー23in-1, 23in-2, ...の一部を、図19(b), 図19(b')に模式的に示す補正ミラー23b, 23b'に置換することによっても、同様の補正が可能である。

これらの補正ミラー23b, 23b'は、その反射面の形状は置換前の単位ミラー23in-1, 23in-2, ...の反射面の形状と変わりない。

但し、補正ミラー23bは、基板（ガラスやセラミックや金属などからなる）23b1上に順に、比較的反射率の低い珪化モリブデン(MoS₂)の層23b2、比較的反射率の高いモリブデン(Mo)又はルテニウム(Ru)の層23b3を積層し、モリブデン(Mo)又はルテニウム(Ru)の層23b3のうち領域23Eb（レチクル面Rの暗部Ebに対応する部分）以外の部分を除去したものである。

また、補正ミラー23b'は、基板（ガラスやセラミックや金属などからなる）23b1上に順に、比較的反射率の高いモリブデン（Mo）又はルテニウム（Ru）の層23b3、比較的反射率の低い珪化モリブデン（MoSi₂）の層23b2を積層し、珪化モリブデン（MoSi₂）の層23b2のうち領域23Ebの部分を除去したものである。

また、本実施形態の照明光学系においては、レチクル面Rの暗部Ecを補正するために補正フィルタFcが用いられているが、単位ミラー23in-1, 23in-2, ...の一部を、図19(c), 図19(c')に模式的に示す補正ミラー23c, 23c'に置換することによっても、同様の補正が可能である。

これらの補正ミラー23c, 23c'は、その反射面の形状は置換前の単位ミラー23in-1, 23in-2, ...の反射面の形状と変わりない。

但し、補正ミラー23cは、基板（ガラスやセラミックや金属などからなる）23c1上に順に、比較的反射率の低い珪化モリブデン（MoSi₂）の層23c2、比較的反射率の高いモリブデン（Mo）又はルテニウム（Ru）の層23c3を積層し、モリブデン（Mo）又はルテニウム（Ru）の層23c3のうち領域23Ec（レチクル面Rの暗部Ecに対応する部分）以外の部分を除去したものである。

また、補正ミラー23c'は、基板（ガラスやセラミックや金属などからなる）23c1上に順に、比較的反射率の高いモリブデン（Mo）又はルテニウム（Ru）の層23c3、比較的反射率の低い珪化モリブデン（MoSi₂）の層23c2を積層し、珪化モリブデン（MoSi₂）の層23c2のうち領域23Ecの部分を除去したものである。

また、本実施形態においても、第1実施形態の変形例のところで述べた各種の方法（補正フィルタ又は補正ミラーの反射面の最上層にテープを設ける、補正フィルタ又は補正ミラーを複数化する）により、照明強度のさらなる均一化を図つてもよい。

また、本実施形態では、明部Ea、暗部Eb、暗部Ecを個別に補正する補正フィルタFa、Fb、Fc、又は補正ミラー23a、23b、23cが用いられたが、同時に二つ以上の部分（例えば、暗部Ebと暗部Ec）を補正する補正フ

イルタ、又は補正ミラーを用いることもできる。

また、本実施形態の照明光学系において、フライアイミラー23の入射端23inを構成する単位ミラー23in-1, 23in-2, ...は互いに等価なので、フィルタFa、Fb、Fcによって覆われる単位ミラー、又は補正ミラー23a, 23b, 23cに置換される単位ミラーは、原理的にはどの単位ミラーであってもよい。但し、開口絞りの形状など、照明条件が変更可能である場合には、その照明条件の変化に依らずに照明ムラの効果を持続させることのできるような最適な単位ミラーが選定されることが望ましい。

また、本実施形態では、フィルタFa, Fb, Fcによって覆われる単位ミラーは、フライアイミラー23の入射端23inを構成する単位ミラー23in-1, 23in-2, ...の何れかとされているが、射出端23outを構成する単位ミラー23out-1, 23out-2, ...の何れかとすることもできる。

但し、入射端23inを構成する単位ミラー23in-1, 23in-2, ...とした方が、好ましい。なぜなら、それら単位ミラー23in-1, 23in-2, ...の入射側とレチクル面Rとは共役であるので、補正フィルタFaの領域FEaのパターンがレチクル面Rの明部Eaのパターンの相似形となり、補正フィルタFbの領域FEbのパターンがレチクル面Rの暗部Ebのパターンの相似形となり、補正フィルタFcの領域FEcのパターンがレチクル面Rの暗部Ecのパターンの相似形となるからである。

また、本実施形態では、補正ミラー23a, 23b, 23cに置換される単位ミラーは、フライアイミラー23の入射端23inを構成する単位ミラー23in-1, 23in-2, ...の何れかとされているが、射出端23outを構成する単位ミラー23out-1, 23out-2, ...の何れかとすることもできる。

但し、入射端23inを構成する単位ミラー23in-1, 23in-2, ...とした方が、好ましい。なぜなら、それら単位ミラー23in-1, 23in-2, ...とレチクル面Rとは共役に近いので、補正ミラー23aの領域23Eaのパターンがレチクル面Rの明部Eaのパターンの相似形に近づき、補正ミラ

—23b の領域 23Eb のパターンがレチクル面 R の暗部 Eb のパターンの相似形に近づき、補正ミラー 13c の領域 23Ec のパターンがレチクル面 R の暗部 Ec のパターンの相似形に近づくからである。

なお、補正フィルタによる照明ムラの低減は、図 1 に示す照明光学系にも適用 5 することができる。

図 1 に示す照明光学系に適用する場合は、フライアイミラー 13 の入射端 13i n 近傍に所定の単位ミラーをカバーするように補正フィルタを配置する。

すなわち、フライアイミラー 13 の入射端 13i n を構成する単位ミラー 13i n-1, 13i n-2, … のうち一部の単位ミラーが、前述の図 16(3), 10 図 17(3)、図 18(3) に示す補正フィルタ Fa, Fb, Fc の何れかにより覆われる。

さらに、別の照明ムラ低減の実施例として、フライアイミラーの単位ミラー(図 1 において符号 13i n-1, 13i n-2, …, 図 11 において符号 23i n-1, 23i n-2, … で示した。) のうち一部を、次のような粘性物 15 質の塗布された補正ミラーに置換してもよい。

この補正ミラーは、真空中でガスが発生せず、かつ EUV 光に対して反射率の低い粘土、グリース等の粘性のある物質(添加物質として Pt, Au を含有する場合も含む)を単位ミラーの表面に塗布したものである。単位ミラー上に塗布された粘性物質は、化学的処理により単位ミラー上に固着させてある。

20 このように単位ミラーの表面に粘性物質を塗布することにより、レチクル面 R の明部 Ea の照明強度を相対的に低減させるための反射率ムラを形成すること、あるいはレチクル面 R の暗部 Eb, Ec の照明強度を相対的に向上させるための反射率ムラを形成することが可能となる。

また、本実施形態においては、斜入射を利用したフライアイミラーを構成する 25 単位ミラーの形状として、放物面鏡の一部を利用しているが、同様な機能を有するのであれば、他の形状であってもよい。

例えば、ウォルター型(I, II, III 型全て)、シリンドリカルミラー、トロイダルミラーなどがある。

[第 3 実施形態]

図20に基づいて本発明の第3実施形態について説明する。本実施形態は投影露光装置の実施形態である。

図20は、本実施形態の投影露光装置の構成図である。

本実施形態の投影露光装置は、露光ビームとしてEUV光（例えば波長50nm以下のEUV光）を用いて、ステップ・アンド・スキャン方式により走査露光動作を行う縮小投影型の投影露光装置である。

投影露光装置には、投影光学系200及び照明光学系100が搭載される。照明光学系100は、上述した第1実施形態又は第2実施形態の何れかの照明光学系であり、投影光学系200の物体面に配置されたレチクル102の表面（レチクル面）Rを照明する。

投影光学系200は、レチクル面Rにおける反射光束の主光線を、像面側に配置されるウエハ10上に実質的に垂直に投射する。

投影光学系200は、物体面側が非テレセントリックで、且つ像面側がテレセントリックであるとともに、複数枚（例えば2～8枚程度であり、図20では4枚）の反射ミラー106, 107, 108, 109からなる反射系（投影倍率は1/4、1/5、1/6など）である。

投影露光装置には、その他、レチクル102を保持するレチクルステージ103、ウエハ10を保持するウエハステージ110等が備えられる。

以上の構成の投影露光装置において、照明光学系100は、第1実施形態又は第2実施形態で説明したとおり、レチクル面Rを従来よりも高い精度で均一に照明する。

したがって、たとえ投影光学系200が従来と同じ構成であったとしても、投影露光装置の露光ムラは低減される。

〔第1実施形態、第2実施形態、第3実施形態の補足〕

なお、上記各実施形態では、投影露光装置のレチクル面Rを照明光学系の照明領域とみなし、全補正ミラーの総合の反射率分布、又は全補正フィルタの総合の透過率分布を、そのレチクル面Rの照明ムラを補正する特性（照明ムラの逆特性）に設定した。このようにしてレチクル面Rの照明ムラが補正されれば、それに伴い投影露光装置の露光ムラは低減される。しかし、これによって低減されるのは、

照明光学系に起因する露光ムラであって、投影光学系など照明光学系以外の部分に起因した露光ムラは依然として発生し得る。

そこで、次のように上記各実施形態を変形してもよい。

5 投影露光装置の露光領域を照明光学系の照明領域とみなし、全補正ミラーの総合の反射率分布、又は全補正フィルタの総合の透過率分布を、投影露光装置の露光ムラを補正するような特性（露光ムラの逆特性）に設定する。つまり、レチカル面R上で意図的に照明ムラを発生させ、それによって照明光学系に起因した露光ムラと共に、照明光学系以外の部分に起因した露光ムラまでも抑える。

[第4実施形態]

10 図21、図22、図23、図24、図25、図26、図27に基づき本発明の第4実施形態を説明する。

本実施形態は、照明光学系の実施形態である。本実施形態の照明光学系は、第1実施形態と同じタイプの照明光学系（直入射型の反射照明光学系。図1参照）を一部変更したものである。ここでは、第1実施形態の照明光学系（図1参照）
15 との相違点についてのみ説明する。

相違点は、投影露光装置の露光領域を照明領域とみなしてその露光ムラを補正する点と、露光領域に入射する光のs偏光成分による露光ムラとp偏光成分による露光ムラとの双方を考慮する点にある。

先ず、露光ムラを説明する。

20 補正前の照明光学系をセットした投影露光装置では、その照明光学系を始めとする様々な原因により、露光領域の露光強度Iaの分布は、例えば図21に実線で示すとおり不均一になる。

なお、図21の横軸Xは、露光領域内の所定方向（露光領域の長手方向）の各位置を示し、縦軸Iは、露光強度を示す。符号Isはs偏光成分による露光強度、
25 符号Ipはp偏光成分による露光強度、符号Iaは両者の平均露光強度である。

平均露光強度Iaには、ムラが生じている。s偏光成分による露光強度Isには、凹状のムラが生じており、p偏光成分による露光強度Ipには、別の凹状のムラが生じている。さらに、露光強度Isと露光強度Ipとの間では、格差が生じている。

次に、本実施形態の照明光学系の構成を説明する。

本実施形態の照明光学系は、第1実施形態と同じタイプの照明光学系（直入射型の反射照明光学系。図1参照）において、フライアイミラー13の入射端13inの入射側の光路に、図22（a）に示すように3つの補正フィルタFs, Fp, Fdを直列配置したものである。

これら補正フィルタFs, Fp, Fdの配置箇所は、基本的に投影露光装置のレチクル面R及びウエハ面と共に役ないし、その付近である。但し、補正フィルタFs, Fp, Fdのアライメントや交換作業の利便性向上のため、また、単位ミラーに入射する光線と反射する光線との干渉を避けるため、それらの配置場所は、10 共役な位置から所定量だけデフォーカスした位置に配置する事もあるものとする。このデフォーカスした位置の配置によって補正フィルタFs, Fp, Fdに付着した塵や不要物が転写されることの悪影響を低減することができる。

ここで、本実施形態では、説明を簡単にするために、図21に示される光強度分布の不均一性はフライアイミラー13の入射側の1つのミラー素子13inに15 入射する光によって引き起こされるものとし、図22（a）では、この1つのミラー素子13inに入射する光によって引き起こされる照明ムラの補正について説明する。

図22（a）の拡大図を図22（b）に示した。

図22（b）に示すように、補正フィルタFs, Fp, Fdは、入射端13inの特定の単位ミラー13in-i（図では1つの単位ミラーとした。）の入射光路に挿入されるべきフィルタ部fs, fp, fdをEUV光に対して高い透過率を持つベリリウム（Be）等の基板上にそれぞれ設けてなる。

各補正フィルタFs, Fp, Fdにおいてフィルタ部fs, fp, fdの形成領域も含めて基板の厚さは極力薄く形成して透過率を100%に近づけるか、あるいはFs, Fp, Fdは必要最小限の大きさにし、EUV光に対して高い透過率を持つベリリウム等の物質で作られた細いワイヤーを交差して形成した不図示の格子状懸架台に固定し、無用な光量の損失を極力避けるものとする。各フィルタ部fs, fp, fdは、多層膜（透過率制御用の多層膜）からなる。

補正用フィルタFsのフィルタ部fsは、s偏光成分の光により発生する照明

ムラ（光強度ムラ）を補正するために、s 偏光成分の光に対して凸状の透過率分布を有し、補正用フィルタ F_p のフィルタ部 f_p は、p 偏光成分の光により発生する照明ムラ（光強度ムラ）を補正するために、p 偏光成分の光に対して凸状の透過率分布を有している。また、補正用フィルタ F_d のフィルタ部 f_d は、それらの s 偏光と p 偏光との間の強度差を補正するために、例えば、p 偏光成分の光と比べて s 偏光成分の光に対して所定量だけ低い一定の透過率分布を有している。この補正用フィルタ F_d のフィルタ部 f_d により、入射光束の s 偏光と p 偏光との間の最大強度の差又は平均強度の差を小さくすることができる。

なお、補正用フィルタ F_s のフィルタ部 f_s は、p 偏光成分の光に対して単なる透明部材または均一な透過率を持つ部材として作用し、100%に近い透過率または所定の一定の透過率分布を有しており、同様に、補正用フィルタ F_p のフィルタ部 f_p は、s 偏光成分の光に対して単なる透明部材または均一な透過率を持つ部材として作用し、100%に近い透過率または所定の一定の透過率分布を有している。

フィルタ部 f_s , f_p , f_d それぞれの透過率分布は、図 23 (a) , (b) , (c) に示すとおりである。

図 23 (a) , (b) , (c) の横軸 X は、露光領域の X 方向に対応する方向の各位置を示し、縦軸 T は、透過率を示す。符号 T_s は s 偏光成分に対する透過率、符号 T_p は p 偏光成分に対する透過率である。

図 23 (a) に示すように、フィルタ部 f_s の s 偏光成分に対する透過率 T_s の分布特性は、s 偏光成分の露光強度 I_s の凹状のムラ（図 21 参照）を抑えて均一化するためのカーブ（凸状のカーブ）を描く。

図 23 (b) に示すように、フィルタ部 f_p の p 偏光成分に対する透過率 T_p の分布特性は、p 偏光成分の露光強度 I_p の凹状のムラ（図 21 参照）を抑えて均一化するためのカーブ（凸状のカーブ）を描く。

図 23 (c) に示すように、フィルタ部 f_d の s 偏光成分に対する透過率 T_s の分布特性は、露光強度比 (I_s / I_p) (図 21 参照) を 1 として露光強度 I_s と露光強度 I_p との格差を無くすためのカーブを描く。なお、図 23 (c) では簡単のため、カーブを近似的に直線で表した。

なお、フィルタ部 f_s 、 f_p 、 f_d に対し所望の透過率分布を付与するには、
フィルタ部 f_s 、 f_p 、 f_d 上における各位置での多層膜の単位層群の構成、単
位層群の積層回数、2次元ないし3次元的配置構成などのパラメーターを最適化
する方法が挙げられる。また、最適化のパラメーターに多層膜を形成する基板の
5 厚みとその分布を含めても良い。

以上、本実施形態では、以上のフィルタ部 f_s 、 f_p の働きにより、 s 偏光成
分の露光強度 I_s のムラと p 偏光成分の露光強度 I_p のムラとがそれぞれ補正さ
れるので、仮に投影露光装置内の何れかの箇所に s p 偏光間に對しそれぞれ異なる
10 作用をする光学部材（反射部材や、特殊材料からなる屈折部材など）が用いら
れていたとしても、投影露光装置の露光ムラは確実に抑えられる。

また、フィルタ部 f_d の働きにより、露光強度 I_s と露光強度 I_p との格差が
抑えられるので、レチクルパターンに依らず、投影露光装置の露光精度が高く保
たれる（具体的には、直交方向の線状パターンと水平方向の線状パターンとの解
像力の差が低く抑えられる。）。

15 以上の本実施形態では、3つの補正フィルター F_s 、 F_p 、 F_d をフライアイ
ミラー 13 を構成する入射側の1つのミラー素子群 13_in の光源側に配置した
例を示したが、例えば、レチクル面（露光面）近傍やレチクル面（露光面）と共に
役な位置またはその近傍に配置することも可能である。この場合には、3つの補
正フィルター F_s 、 F_p 、 F_d は、図 23 に示す光学特性を有することが好まし
20 いことは言うまでもない。

（第4実施形態の変形例）

なお、本実施形態のフィルタ部 f_d には、 s 偏光成分の透過率を低下させるも
のが適用されたが、それは、 p 偏光成分の露光強度 I_p よりも s 偏光成分の露光
強度 I_s の方が高かったからであり（図 21 参照）、露光強度 I_s よりも露光強
度 I_p の方が高かった場合には、そのフィルタ部 f_d に p 偏光成分の透過率を低
25 下させるものが適用される。なお、その場合のフィルタ部 f_d の透過率 T_p の分
布特性は、露光強度比（ I_p / I_s ）（図 21 参照）を1とするためのカーブを
描く。

また、本実施形態では、簡単のため、 s 偏光成分の露光強度 I_s のムラの分布

と p 偏光成分の露光強度 I_p のムラの分布とを類似した凹状としたが、双方の分布が全く異なる場合であっても、フィルタ部 f_s の透過率 T_s の分布特性とフィルタ部 f_p の透過率 T_p の分布特性とをそれぞれ適切に設定すれば、露光ムラは確実に抑えられる。

5 また、本実施形態のフィルタ部 f_s ， f_p ， f_d は、互いに同じ光路に配置（直列配置）されているが、フィルタ部 f_s ， f_p ， f_d の何れか 2 つは、互いに異なる光路に配置（並列配置）されてもよい。

また、本実施形態のフィルタ部 f_s ， f_p ， f_d は、互いに異なる補正フィルタ F_s ， F_p ， F_d に設けられているが、そのうち 2 つ又は全部が光路に対し並列配置されるよう单一の補正フィルタ上に並べて設けられてもよい。

10 また、本実施形態のフィルタ部 f_s 、 f_p 、 f_d の 2 つ又は 3 つと同じ機能を有するよう一体型に形成されたフィルタ部を用いても良い。

図 24 (a) には、フィルタ部 f_s ， f_d と同じ機能のフィルタ部 f_{sd} を有した補正フィルタ F_{sd} とフィルタ部 f_p を有した補正フィルタ F_p との組み合 15 わせ例、及び、フィルタ部 f_s ， f_p ， f_d を光路に対し並列配置されるよう並べて設けた单一の補正フィルタ F の例を示した。

何れの場合にも、全補正フィルタの総合の透過率 T_s の分布及び透過率 T_p の分布が、図 24 (b) に示す特性になっていればよい。

また、本実施形態では 3 つのフィルタ部 (f_s ， f_p ， f_d) を直列に 1 部ず 20 配置している。しかし、この方法では 3 つのフィルタ部 (f_s ， f_p ， f_d) を光線が通る場合、設けられた多層膜の全体の厚さが厚くなるため、照明ムラの補正以前に多層膜に光吸収される恐れがある。この結果、3 つのフィルタ部 (f_s ， f_p ， f_d) により補正されたはずの単位ミラーからの光が消失ないし、微弱になりすぎて補正の役割を果たさなくなる可能性がある。このような場合には、 25 3 種類の補正フィルタ (f_s ， f_p ， f_d) をそれぞれ、別々の単位ミラーに対して作用するように配置することが好ましい。

反射型オプティカルインテグレータとしてのフライアイミラーによってムラのない照明を実現する原理は、フライアイミラーを構成する各々の単位ミラー（ミラー素子）毎の微小な光学的特性もしくは性能（ミラーなら反射率差、レンズな

ら透過率差等) の差異があったとしても、複数の単位ミラーからの光線がコンデンサー光学系を介した後の被照射面 (または被照射面と共役な面) での重畠による平均化効果により、一定の値に到達することによる。

ここで、s 偏光と p 偏光の光強度分布 (または照度分布) に対してそれぞれ被照射面内 (露光エリア内) でムラがあつたり、s 偏光と p 偏光との間で最大強度又は平均強度に差があつた場合には、これらのムラを打ち消す特性を持った単位ミラーをフライアイミラー中に配置する事で目標とする値 (s 偏光によるムラ、p 偏光によるムラ、及び s 偏光と p 偏光との間で最大強度又は平均強度の差が無い状態) を実現する事が原理上可能である。

10 本発明の図 1 では、フライアイミラーに入射する光線は平行光束で、かつ単位ミラーも同じものを使用している。よって、3つのフィルタ部 (f_s 、 f_p 、 f_d) の作用を分解し、それぞれ他の単位ミラーにそれぞれ作用させても原理的には重ね合わせにより同じ結果が得られるはずである。

しかし、平行光束を形成するコリメーターミラーの反射率ムラなどにより、単位ミラーが全て同じで、入射する光線の角度が等しくとも同じ結果が得られない場合がある。このような場合、補正しきれていない各種の照明ムラに応じて3つのフィルタ部 (f_s 、 f_p 、 f_d) の何れかを複数個使用して補正するか、あるいは3つのフィルタ部 (f_s 、 f_p 、 f_d) の補正能力を低減させた新たな3つのフィルタ部 (f_s' 、 f_p' 、 f_d') の何れかを複数個使い、s 偏光によるムラ、p 偏光によるムラ、及び s 偏光と p 偏光との間の強度差をそれぞれ補正することができる。さらには、3つのフィルタ部 (f_s 、 f_p 、 f_d) と新たな3つのフィルタ部 (f_s' 、 f_p' 、 f_d') との組み合わせや、3つのフィルタ部 (f_s 、 f_p 、 f_d) の何れかを複数個使用すると共に、新たな3つのフィルタ部 (f_s' 、 f_p' 、 f_d') の何れかを複数個使用することも可能である。

25 このような調整手法により、無理なく理想的露光条件からの微小な差異に倒しても十分な補正が可能となる。

なお、以上にて説明した、3つのフィルタ部 (f_s 、 f_p 、 f_d) や新たな3つのフィルタ部 (f_s' 、 f_p' 、 f_d') は、フライアイミラーよりも光源側の光路中に配置される透過性基板または並列配置された複数の透明基板に設ける

ことも可能ではあるが、フライアイミラーを構成する単位ミラー（ミラー素子）にそれぞれ形成することが可能であることは言うまでもない。

図25（a）には、p偏光成分のムラを補正するためにp偏光の光に対して所定の透過率を有する2つのフィルタ部 f_{p-i} ， f_{p-j} を光路に対して並列配置されるよう並べて設けた単一の補正フィルタ F_p を示した。この場合、フィルタ部 f_{p-i} ， f_{p-j} が分担して透過率の制御をする。

この図25で示す例では、不図示ではあるが、当然のことながら、s偏光成分のムラを補正するための複数のフィルタ部、及びs偏光とp偏光との間の光強度差を補正するための複数のフィルタ部がそれぞれ別部材で構成されている。さらには、これらの3種の機能を分担したフィルタ部のミラー要素 $13in$ に対応した部分を複合して1部材または2部材で構成することも可能である。

また、図22（b）などに示した補正フィルタ F_s 、 F_p 、 F_d の配置は入射端 $13in$ への入射光線に対して垂直に配置されるものであるが、図25（b）に示すように、入射光線に垂直に配置せず、単位ミラーラー群が配置されている基板面に対して平行に配置することもできる。

このような配置を取ることでフィルタのアライメントが容易になり、複数の補正フィルタを使用する場合に各入射光線に対してフィルタの作用を均一に与えやすくなる。

また、本実施形態では、入射光束の透過率を制御する補正フィルタ（図22（b）など参照）が用いられたが、それに代えて、図26に示すように、入射光束の反射率を制御する反射型の補正板Bが用いられてもよい。

図26に示すように、反射型の補正板Bは、反射性基板上に補正部 f' を有したものである。補正部 f' の反射率分布は、フィルタ部 f の透過率分布と同じに設定される。但し、この反射型の補正板Bを用いる場合には、照明光学系の光路を少なくとも1回折り曲げる必要がある。

また、本実施形態では、補正フィルタ F_s ， F_p （又は補正フィルタ F_d ）として、透明基板上に多層膜からなるフィルタ部 f_s ， f_p （又はフィルタ部 f_d ）を設けたもの（図22（b）など参照）が用いられたが、図27（a），（b）に示すように、透明基板上に格子状のキズ（刻線パターン） $f_{s''}$ ， $f_{p''}$ を設

けてなる補正フィルタ F_s'' , F_p'' が用いられてもよい。

図 27 (a) , (b) それぞれにおいて下段は補正フィルタ F_s'' , F_p'' の断面の様子、中段は刻線パターン f_s'' , f_p'' の全体を正面から見たときの様子(透過率の二次元分布が凸状であるときの様子。)、上段は刻線パターン f_s'' , f_p'' の部分拡大図である(何れも模式図)。

フィルタ部 f_s'' の刻線パターン f_s'' の方向は、入射光束の s 偏向成分の光量が低減する方向に設定されている。刻線パターン f_s'' の配置密度の分布特性は、フィルタ部 f_s の透過率 T_s の分布の逆特性である(刻線パターン f_s'' の配置密度が高いほど透過率 T_s は低くなるので。)。

一方、補正フィルタ F_p'' の刻線パターン f_p'' の方向は、入射光束の p 偏向成分の光量が低減する方向に設定されている。刻線パターン f_p'' の配置密度の分布特性は、フィルタ部 f_p の透過率 T_p の分布の逆特性である(刻線パターン f_p'' の配置密度が高いほど透過率 T_p は低くなるので。)。

また、このような補正フィルタ F_s'' , F_p'' の代わりに、刻線パターン f_s'' , f_p'' と同様のパターンで張られたワイヤ群を用いてもよい。

また、本実施形態の照明光学系は、第1実施実施形態と同じタイプの照明光学系(直入射型の反射照明光学系。図1参照)を変更したものであるが、第2実施形態と同じタイプの照明光学系(斜入射型の反射照明光学系。図11参照)を同様に変更することもできる。

また、本実施形態では、露光強度 I_s と露光強度 I_p との格差の低減が図られたが、投影露光装置の露光方式としてスキャン方式が適用された場合など、露光強度 I_s と露光強度 I_p との間に所定の格差を設けることで求められる場合には、露光強度 I_p のムラと露光強度 I_s のムラとがそれぞれ補正されると共に、露光強度 I_p と露光強度 I_s との間にその所定の格差が設けられるよう各フィルタ部(フィルタ部 f_s , f_p , f_d など)の特性が設定される。

[第5実施形態]

図28、図29、図30に基づき本発明の第5実施形態を説明する。

本実施形態は、照明光学系の製造方法の実施形態である。

本実施形態で製造する照明光学系は、第1実施形態と同じタイプの照明光学系

(直入射型の反射照明光学系。図1参照)である。本実施形態では、この照明光学系のフライアイミラー13の入射端13inの何れかの単位ミラー13in-iを、それと同じ反射面形状の補正ミラーに置換することにより、投影露光装置の露光ムラの補正を図る。

5 製造方法の手順は、図28に示すとおりである。

先ず、ステップS1において、図29に示すごとく補正ミラーへの置換前の照明光学系(補正前の照明光学系)100'を投影露光装置にセットし、露光ムラ(ここでは、露光領域内の露光強度分布のことを指す。)を測定する。この測定では、例えば、ウェハステージ110上に設けられた測光センサ209が用いられる(図29参照)。測光センサ209で露光領域を二次元走査すれば、露光ムラの測定データが得られる。

10 次のステップS2において、ステップS1の測定により得られた測定データと、フライアイミラー13の各単位ミラー13in-1, 13in-2, …の反射率分布の測定データ(又は設計データ)に基づき、補正ミラーに付与すべき反射率分布の目標値を決定する。このとき、置換すべき補正ミラーの数、置換対象となる単位ミラー13in-iなども決定される。

15 次のステップS3において、ステップS2にて決定された目標値に最も近い反射率分布を実現する補正ミラーの多層膜を設計する。具体的には、補正ミラーの反射面に形成すべき多層膜の単位層群の構成(材料、及びその厚さd等)、及び単位層群の積層回数Nを目標値により最適化する。この最適化には、多層膜設計の公知の手法を適用できる。なお、この厚さdや積層回数Nは、補正ミラーの反射面上の位置毎(単位領域毎)にそれぞれ異なる値を探る。その理由を以下に述べる。

20 先ず、照明光学系の光源11にはEUV光(X線の一種)が用いられるので、多層膜は、第1実施形態で述べたとおり、例えばモリブデン(Mo)及びシリコン(Si)等からなる単位層群を積層したものである。このような多層膜での反射は、多数の界面で反射した光の干渉を利用している。

このため、入射光(ここではEUV光)の角度(ここでは、光線と入射面とが成す角度)が、入射光単位層群の厚さ(周期長)d及び波長λに対し、プラッギ

の反射条件 ($2 d \sin \theta = n \lambda$ (n : 任意の整数)) を満たすときには、高い反射率で反射するが、これを満たさないときは殆ど反射しない。

また、単位層群の積層回数 N が大きいほど入射光は高い反射率で反射するが、単位層群の積層回数 N が大きいほど反射率の角度特性のピークの半値幅は狭まる。

5 ここで、照明光学系においては、図 30 に示すように、単位ミラー 13_{in-1} の各位置には、入射光 L_1 , L_2 , L_3 , … がそれぞれ異なる角度で入射する。例えば、入射光 L_1 の角度は 84.26° 、入射光 L_2 の角度は 85.70° 、入射光 L_3 の角度は 87.13° である。

10 このとき、波長 $\lambda = 13.5 \text{ nm}$ 、 $n = 1$ とすると、最適な厚さ d は、以下のとおりそれぞれ異なる。

入射光 L_1 : $d = 6.784 \text{ nm}$

入射光 L_2 : $d = 6.769 \text{ nm}$

入射光 L_3 : $d = 6.758 \text{ nm}$

15 このように、厚さ d だけ比較しても、入射光の角度によって、すなわち反射面の位置によって異なることは明らかである。

なお、補正ミラーの反射面の曲率半径が小さくなるほど各入射光の角度の相違が顕著になるので、最適化の際に各単位領域の細分化をする必要がある。

20 また、補正ミラーの反射面が複雑な形状になるほど各入射光の角度の相違が顕著になるので、最適化の際に単位領域の細分化をする必要がある（以上、ステップ S 3）。

ステップ S 4 : ステップ S 3 にて設計された多層膜を設けた補正ミラーを製造し、その補正ミラーを備えたフライアイミラー 13 を照明光学系に組み込み、照明光学系を完成させる。

25 以上、本実施形態の製造方法では、補正ミラーに付与すべき反射率分布の目標値を決定する際に、露光ムラの測定データだけでなく、置換前の単位ミラー 13_{in-1} , 13_{in-2} , … の反射率分布のデータにも基づく。このように詳細な情報に基づいて決定された目標値は、投影露光装置の露光ムラを補正するために必要な反射率分布を的確に示す。

その結果、本実施形態の製造方法により製造された照明光学系は、投影露光装

置の露光ムラを高精度に抑えることができる。

(第5実施形態の変形例)

なお、本実施形態の製造方法にて製造した照明光学系は、投影露光装置に固有の露光ムラを抑えるものであるが、以下の手順(1)、(2)、(3)を経て製造される照明光学系は、投影露光装置の稼働中の露光ムラの変化までも抑えることができる。

(1) 投影露光装置の出荷前に、投影露光装置の稼働時に発生し得る各種の露光ムラをシミュレーション又は実測に基づき予測する。

(2) 各種の露光ムラをそれぞれ補正する各種のフライアイミラーを、上述したステップS2、S3の手順を経て製造する。

(3) 製造された各種のフライアイミラーを切り換える可能に搭載した照明光学系を組み立てる。

この照明光学系によれば、使用者が各種のフライアイミラーを適宜切り換えるだけで、投影露光装置の稼働時に経時的に発生する露光ムラの変化や、稼働時に突発的に発生する照明ムラなどをも抑えることができる。

また、本実施形態の照明光学系は、第1実施形態と同じタイプの照明光学系(直入射型の反射照明光学系。図1参照)としたが、第2実施形態と同じタイプの照明光学系(斜入射型の反射光学系。図1-1参照)であってもよい。

その場合、補正ミラーの反射面に形成されるのは、第2実施形態で述べたとおり、例えば珪化モリブデン(MoS₂)の層や、比較的反射率の高いモリブデン(Mo)又はルテニウム(Ru)の層などからなる層である(図1-9参照)。したがって、ステップS3にて設計されるのは、これらの層の構造である。

なお、以上の各実施形態の説明では、偏光光を互いに直交した2方向に直線偏光するp偏光光とs偏光光としたが、直交した2方向に偏光する光は必ずしも直線偏光の同士の光でなくても良く、互いに交差する2方向に偏光する光の組み合せであれば何でも良い。従って、本発明で言う互いに交差する2方向で偏光する光とは、互いに直交又は交差した2方向に偏光する直線偏光の光の組み合せ、互いに直交又は交差した2方向に長径(短径)を有する楕円偏光の光の組み合せ、さらには右回り円偏光と左周りの円偏光との組み合せを含むものである。

また、以上の各実施形態による被照明面での照明ムラの補正手法を用いたり、或いは補正手段を設けることによって、良好なる光学性能を有する照明装置の調整方法や照明装置の製造方法が実現できる。

さらに、以上の各実施形態によるマスク面や感光性基板面での照明ムラの補正手法を用いたり、或いは補正手段を設けることによって、良好なるマイクロデバイスを製造できる露光装置の調整方法や露光装置の製造方法が実現できる。

[第6実施形態]

図31、図32に基づいて本発明の第6実施形態について説明する。

上述の実施形態にかかる投影露光装置では、照明光学系によってマスク（レチクル）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。

以下、上述の実施形態の投影露光装置を用いて感光性基板としてのウエハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図31のフローチャートを参照して説明する。

先ず、図31のステップS301において、1ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップS302において、その1ロットのウエハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップS303において、上述の実施形態の投影露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップS304において、その1ロットのウエハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップS305において、その1ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

また、上述の実施形態の投影露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。

以下、図32のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。

図32において、パターン形成工程401では、上述の実施形態の投影露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィー工程が実行される。この光リソグラフィー工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、及びカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。

セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。

以上の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

[各実施形態の補足]

なお、本文中に透過型フィルタの材料にベリリウム（Be）を使用すると書かれている部分があるが、これは材料を特定するものではなく、要はEUV光に対して高い透過率を持ち、真空中に配置する上で適切（真空排気の際にガスが出ない等）であればどのような材料であってもよく、例えば十分に薄くされた銅（Cu）などでも良い。

以上にて記載した透明基板とは、EUV光に対して高い透過率を持つ基板のことを意味し、例えば、ベリリウム（Be）等の高い透過率を持つ薄膜を透明基板として用いることができる。この場合、ベリリウム（Be）等の高い透過率を持つ薄膜は、例えば、ワイヤーを格子状に配置したものなどで懸架することができる。

また、上記各実施形態では、反射型の照明光学系、反射型の投影光学系を説明したが、本発明は、反射屈折型の照明光学系や、反射屈折型の投影光学系に代えることもできる。

また、上記各実施形態では、投影露光装置に適用される照明光学系を説明したが、視野の照明ムラを低減すべき他の光学機器（顕微鏡など）に本発明の照明光学系を適用してもよい。

以上の各実施形態においては、互いに交差する2方向の偏光光により発生する照明ムラや露光ムラを補正する例を示したが、本発明は交差する2方向の偏光光のうちの1つの偏光光により発生する照明ムラや露光ムラを補正するものであっても良く、さらには特定の偏光光により発生する照明ムラや露光ムラを補正するものであっても良い。

また、偏光光により発生する照明ムラや露光ムラを補正することに関する以上の各実施形態においては、主に反射系で構成される光学系（照明光学系等）について説明したが、屈折系で構成される光学系（照明光学系等）、あるいは屈折系と反射系との組み合わせで構成される光学系（照明光学系等）に本発明のムラ補正手段を用いることも有効である。

以上の各実施形態におけるムラ補正は、照明光学系、照明装置、または投影露光装置等の装置の製造過程（製造方法）や、これらの装置の使用過程等にて用いることが可能であり、さらには、各実施形態を組み合わせてムラ補正を行うこと

も可能である。

なお、上記各実施形態の照明光学系においては、照明ムラ（又は露光ムラ）を補正する補正手段として、例えば、図33（a）, (b), (c), (d), (e)に示すように、単位ミラー13in-iの反射面に直接装着される補正板B'を用いてもよい。

図33（a）に示す補正板B'は圧着器301で反射面に圧着される。

図33（b）に示す補正板B'は、単位ミラー13in-iの周縁の非使用領域に介在するクライコングリースなどの接着剤302によって反射面に装着される。

図33（c）に示す補正板B'は、単位ミラー13in-iの周縁の非使用領域に固定されるネジ303によって反射面に装着される。

図33（d）に示す補正板B'は、単位ミラー13in-iの隣接ミラーとの間隙と嵌合するツメ（突出部）304によって反射面に装着される。

図33（e）に示す補正板B'は、単位ミラー13in-iの周縁の非使用領域に設けられた懸架台305によって反射面に装着される。

産業上の利用の可能性

本発明によれば、光学系の組み立て後に生じる僅かな照明ムラまでもが低減された照明光学系が実現する。

また、本発明によれば、露光ムラの少ない高性能な投影光学系が実現する。

また、本発明によれば、高性能なマイクロデバイスを製造することのできるマイクロデバイスの製造方法が実現する。

また、本発明によれば、照明ムラの低減された高性能な照明装置を製造することのできる照明装置の製造方法が実現する。

また、本発明によれば、投影露光装置の露光ムラを低減することのできる投影露光装置の調整方法が実現する。

また、本発明によれば、露光ムラの少ない高性能な投影露光装置を製造することのできる投影露光装置の製造方法が実現する。

請求の範囲

5 (1) 極端紫外光を出射する光源、コリメータ、フライアイミラー、及びコンデンサを順に配置し、そのコンデンサの射出側における所定の照明領域をケーラー照明する照明光学系において、

前記フライアイミラーを構成する複数の単位ミラーのうち少なくとも一つは、

前記照明領域の照明ムラの一部又は全部を補正するための反射率ムラを有した補正ミラーである

10 ことを特徴とする照明光学系。

(2) 請求項 1 に記載の照明光学系において、

前記複数の単位ミラーの個数に対する前記補正ミラーの個数の比は、

前記照明ムラの程度に応じた値に調整されている

ことを特徴とする照明光学系。

15 (3) 請求項 1 又は請求項 2 に記載の照明光学系において、

前記複数の単位ミラーには、それぞれ反射率向上用の多層膜が設けられており、

前記補正ミラーの前記多層膜の層数には、前記反射率ムラを実現するための分布が付与されている

ことを特徴とする照明光学系。

20 (4) 請求項 1 又は請求項 2 に記載の照明光学系において、

前記複数の単位ミラーは、入射光の斜入射角度が全反射角度となる姿勢でそれぞれ配置されており、

前記補正ミラーの反射面の表面構造には、前記反射率ムラを実現するための分布が付与されている

25 ことを特徴とする照明光学系。

(5) 請求項 4 に記載の照明光学系において、

前記光源が出射する前記極端紫外光は、波長 50 nm 以下の極端紫外光であり、

前記複数の単位ミラーは、Ru 又はMo の材料からなり、かつ前記斜入射角度が 15° 以下となる姿勢で配置される

ことを特徴とする照明光学系。

(6) 極端紫外光を出射する光源、コリメータ、フライアイミラー、及びコンデンサを順に配置し、そのコンデンサの射出側における所定の照明領域をケーラー照明する照明光学系において、

5 前記フライアイミラーを構成する複数の単位ミラーのうち少なくとも一つの入射側には、

前記照明領域の照明ムラの一部又は全部を補正するための透過率ムラを有した補正フィルタが配置される

ことを特徴とする照明光学系。

10 (7) 請求項 6 に記載の照明光学系において、

前記複数の単位ミラーの個数に対する前記補正フィルタの個数の比は、

前記照明ムラの程度に応じた値に調整されている

ことを特徴とする照明光学系。

(8) 請求項 6 又は請求項 7 に記載の照明光学系において、

15 前記補正フィルタの厚さには、前記透過率ムラを実現するための分布が付与されている

ことを特徴とする照明光学系。

(9) 請求項 6 ～請求項 8 の何れか一項に記載の照明光学系において、

前記複数の単位ミラーは、入射光の斜入射角度が全反射角度となる姿勢でそれ20 ぞれ配置されている

ことを特徴とする照明光学系。

(10) 請求項 9 に記載の照明光学系において、

前記光源が出射する前記極端紫外光は、波長 50 nm 以下の極端紫外光であり、

前記複数の単位ミラーは、R u 又はM o の材料からなり、かつ前記斜入射角度25 が 15° 以下となる姿勢で配置される

ことを特徴とする照明光学系。

(11) 請求項 1 ～請求項 10 の何れか一項に記載の照明光学系において、

前記補正ミラーは、

前記照明領域を照明する互いに交差する二方向に偏光する偏光光のうちの少な

くとも一方向に偏光する偏光光より生ずる照明ムラを補正する
ことを特徴とする照明光学系。

(12) 請求項1～請求項5の何れか一項に記載の照明光学系において、
前記補正ミラーは、

5 前記照明領域を照明する第1偏光成分による照明ムラを補正するための第1偏
光成分に対する第1反射率分布特性と、前記照明領域にて前記第1偏光成分と交
差する方向に偏光する第2偏光成分の照明ムラを補正するための第2偏光成分に
対する第2反射率分布特性を有している

ことを特徴とする照明光学系。

10 (13) 請求項6～請求項10の何れか一項に記載の照明光学系において、
前記補正フィルタは、

前記照明領域を照明する第1偏光成分による照明ムラを補正するための第1偏
光成分に対する第1透過率分布と、前記照明領域にて前記第1偏光成分と交差す
る方向に偏光する第2偏光成分の照明ムラを補正するための第2偏光成分に對す
15 る第2透過率分布とを有している

ことを特徴とする照明光学系。

(14) 請求項13に記載の照明光学系において、

前記補正フィルタは、

前記照明領域を照明する第1偏光成分による照明ムラを補正するための第1偏
20 光成分に対する第1透過率分布を有する第1フィルタ部材と、前記照明領域にて
前記第1偏光成分と交差する方向に偏光する第2偏光成分の照明ムラを補正する
ための第2偏光成分に対する第2透過率分布を有する第2フィルタ部材とを含む
ことを特徴とする照明光学系。

(15) 所定の光を導光して所定の照明領域を照明するための複数の光学部材と、
25 前記照明領域における偏光光の不均一な光強度分布により発生する照明ムラを
補正する補正手段と

を含むことを特徴とする照明光学系。

(16) 請求項15に記載の照明光学系において、
前記補正手段は、

前記照明領域を照明する互いに交差する二方向に偏光する偏光光のうちの少なくとも一方向に偏光する偏光光より生ずる照明ムラを補正することを特徴とする照明光学系。

(17) 請求項15又は請求項16に記載の照明光学系において、

5 前記補正手段の光学特性は、

前記照明領域を照明する第1偏光成分の光の照明ムラを補正すると共に、前記照明領域を照明する前記第1偏光成分とは交差する方向に偏光する第2偏光成分の光の照明ムラを補正する特性に設定されている

ことを特徴とする照明光学系。

10 (18) 請求項17に記載の照明光学系において、

前記補正手段の光学特性は、

前記照明ムラを補正すると共に、前記第1偏光成分と前記第2偏光成分との強度差を補正する特性に設定されている

ことを特徴とする照明光学系。

15 (19) 請求項17に記載の照明光学系において、

前記補正手段は、

前記照明領域を照明する光の第1偏光成分の照明ムラを補正する光学特性を持つ第1補正部材と、その光の第2偏光成分の照明ムラを補正する光学特性を持つ第2補正部材とを含む

20 ことを特徴とする照明光学系。

(20) 請求項15～請求項19の何れか一項に記載の照明光学系において、

前記補正手段は、

前記照明領域と光学的に共役な位置、又はその位置から所定量ずれた位置に配置される

25 ことを特徴とする照明光学系。

(21) 請求項15～請求項19の何れか一項に記載の照明光学系において、

前記複数の光学部材の少なくとも1つは、

複数の単位ミラーからなるフライアイミラーであり、

前記補正手段は、

前記複数の単位ミラーの少なくとも1つに設けられる
ことを特徴とする照明光学系。

(22) 波長50nm以下の極端紫外光を導光して所定の照明領域を照明するための複数の反射部材と、

5 前記照明領域と光学的に共役な位置、又はその位置から所定量ずれた位置に配置され、かつ前記照明領域の照明ムラを補正する光学特性を持つ補正手段とを含み、

前記複数の反射部材の反射面のそれぞれには、
反射率向上用の多層膜が形成されている
ことを特徴とする照明光学系。

(23) 波長50nm以下の極端紫外光を導光して所定の照明領域を照明するための複数の反射部材と、

前記照明領域と光学的に共役な位置、又はその位置から所定量ずれた位置に配置され、かつ前記照明領域の照明ムラを補正する光学特性を持つ補正手段とを含み、

前記複数の反射部材の少なくとも1つは、
入射光の斜入射角度が全反射角度となる姿勢で配置されている
ことを特徴とする照明光学系。

(24) 請求項22又は請求項23に記載の照明光学系において、

20 前記複数の反射部材の少なくとも1つは、
複数の単位ミラーからなるフライアイミラーである
ことを特徴とする照明光学系。

(25) 所定の光を導光して所定の照明領域を照明するための複数の反射部材と、
前記照明領域の照明ムラを補正する光学特性を持つ補正手段とを含む照明光学系

25において、

前記補正手段の光学特性は、
前記複数の反射部材の少なくとも1つの反射率分布の情報を考慮して設定されたものである
ことを特徴とする照明光学系。

(26) 請求項25に記載の照明光学系において、

前記補正手段の光学特性は、

前記反射率分布の情報と共に、前記照明ムラの実測情報を考慮して設定されたものである

5 ことを特徴とする照明光学系。

(27) 請求項25又は請求項26に記載の照明光学系において、

前記複数の反射部材の少なくとも1つは、

複数の単位ミラーからなるフライアイミラーであり、

前記補正手段の光学特性は、

10 前記複数の単位ミラーの少なくとも1つの反射率特性の情報を考慮して設定されたものであり、

前記補正手段は、

前記複数の単位ミラーの少なくとも1つに設けられる

ことを特徴とする照明光学系。

15 (28) 請求項25～請求項27の何れか一項に記載の照明光学系において、

前記複数の反射部材の反射面のそれぞれには、

反射率向上用の多層膜が形成されている

ことを特徴とする照明光学系。

(29) 請求項25～請求項27の何れか一項に記載の照明光学系において、

20 前記複数の反射部材の少なくとも1つは、

入射光の斜入射角度が全反射角度となる姿勢で配置されている

ことを特徴とする照明光学系。

(30) 請求項22～請求項29の何れか一項に記載の照明光学系において、

前記補正手段は、

25 前記照明領域における偏光光の不均一な光強度分布により発生する照明ムラを補正する

ことを特徴とする照明光学系。

(31) 請求項30に記載の照明光学系において、

前記補正手段の光学特性は、

前記照明領域を照明する第1偏光成分の光の強度ムラを補正すると共に、前記照明領域を照明する前記第1偏光成分とは交差する方向に偏光する第2偏光成分の光の強度ムラを補正する特性に設定されている
ことを特徴とする照明光学系。

5 (32) 請求項31に記載の照明光学系において、
前記補正手段の光学特性は、
前記照明ムラを補正すると共に、前記第1偏光成分と前記第2偏光成分との強度差を補正する特性に設定されている
ことを特徴とする照明光学系。

10 (33) 請求項31に記載の照明光学系において、
前記補正手段は、
前記照明領域を照明する光の第1偏光成分の照明ムラを補正する光学特性を持つ第1補正手段と、その光の第2偏光成分の照明ムラを補正する光学特性を持つ第2補正手段とを含む
ことを特徴とする照明光学系。

15 (34) マスクを第1面に保持するマスクステージと、
感光性基板を第2面に保持する基板ステージと、
前記第1面の像を前記第2面に投影する投影光学系と、
前記第1面を照明することによりその第1面と前記第2面とを同時に照明する
20 請求項1～請求項31の何れか一項に記載の照明光学系とを含み、
前記照明光学系は、
前記照明領域としての前記第1面又は前記第2面の照明ムラを補正するよう予め設定されている
ことを特徴とする投影露光装置。

25 (35) 請求項34に記載の投影露光装置を用いてマイクロデバイスを製造することを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

(36) マスクを照明する照明系と、マスクのパターンを感光性基板に投影する投影系とを有し、
前記照明系は、

前記マスク面または前記感光性基板面にて偏光する光による光強度分布の不均一性に起因して発生する照明ムラを補正する補正手段を含むことを特徴とする投影露光装置。

(37) 請求項36に記載の投影露光装置において、

5 前記補正手段は、

互いに交差する二方向に偏光する偏光光のうちの少なくとも一方向に偏光する偏光光より生ずるムラを補正する

ことを特徴とする投影露光装置。

(38) 請求項37に記載の投影露光装置において、

10 前記補正手段は、

互いに交差する二方向に偏光する第1及び第2偏光成分の光のうちの一方の第1偏光成分の光による照明ムラを補正する第1補正部材、前記互いに交差する二方向に偏光する第1及び第2偏光成分の光のうちの他方の第2偏光成分の光による照明ムラを補正する第2補正部材とを含む

15 ことを特徴とする投影露光装置。

(39) 請求項38に記載の投影露光装置において、

前記補正手段は、

前記第1偏光成分の光と前記第2偏光成分の光との光強度差を補正する第3補正部材を含む

20 ことを特徴とする投影露光装置。

(40) 光を被照明領域に導く照明光学系を準備する工程と、

前記被照射領域での偏光光の不均一な光強度分布によるムラを補正する工程とを有する

ことを特徴とする照明装置の製造方法。

25 (41) 請求項40に記載の照明装置の製造方法において、

前記補正工程は、

互いに交差する二方向に偏光する偏光光のうちの少なくとも一方向に偏光する偏光光より生ずるムラを補正する工程を含む

ことを特徴とする照明装置の製造方法。

(42) 請求項40に記載の照明装置の製造方法において、
前記補正工程は、

互いに交差する二方向に偏光する第1及び第2偏光成分の光のうちの一方の第
1偏光成分の光によるムラを補正する第1補正工程と、前記互いに交差する二方
5 向に偏光する第1及び第2偏光成分の光のうちの他方の第2偏光成分の光による
ムラを補正する第2補正工程とを含む

ことを特徴とする照明装置の製造方法。

(43) 請求項42に記載の照明装置の製造方法において、
前記補正工程は、

10 前記第1偏光成分の光と前記第2偏光成分の光との光強度差を補正する第3補
正工程を含む

ことを特徴とする照明装置の製造方法。

(44) 請求項40～請求項43の何れか一項に記載の照明装置の製造方法にお
いて、

15 前記照明光学系は、

50 nm以下の光を前記被照明領域に導く
ことを特徴とする照明装置の製造方法。

(45) マスクを照明する照明系とマスクのパターン像を感光性基板に投影する
投影系とを備えた投影露光装置を準備する工程と、

20 前記マスク面または前記感光性基板面での偏光光の不均一な光強度分布による
ムラを補正する工程とを有する
ことを特徴とする投影露光装置の調整方法。

(46) 請求項45に記載の投影露光装置の調整方法において、
前記補正工程は、

25 互いに交差する二方向に偏光する偏光光のうちの少なくとも一方向に偏光す
る偏光光より生ずるムラを補正する工程を含む
ことを特徴とする投影露光装置の調整方法。

(47) 請求項45に記載の投影露光装置の調整方法において、
前記補正工程は、

互いに交差する二方向に偏光する第1及び第2偏光成分の光のうちの一方の第1偏光成分の光によるムラを補正する第1補正工程と、前記互いに交差する二方向に偏光する第1及び第2偏光成分の光のうちの他方の第2偏光成分の光によるムラを補正する第2補正工程とを含む

5 ことを特徴とする投影露光装置の調整方法。

(48) 請求項47に記載の投影露光装置の調整方法において、

前記補正工程は、

前記第1偏光成分の光と前記第2偏光成分の光との光強度差を補正する第3補正工程を含む

10 ことを特徴とする投影露光装置の調整方法。

(49) 請求項45～請求項48の何れか一項に記載の投影露光装置の調整方法において、

前記照明系は、

50nm以下の光で前記マスクを照明する

15 ことを特徴とする投影露光装置の調整方法。

(50) 請求項45～請求項49の何れか一項に記載の投影露光装置の調整方法によって調整された投影露光装置を用いたマイクロデバイスの製造方法において、前記照明系を用いて前記マスクを照明する工程と、

前記投影系を用いて前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する工程

20 とを含む

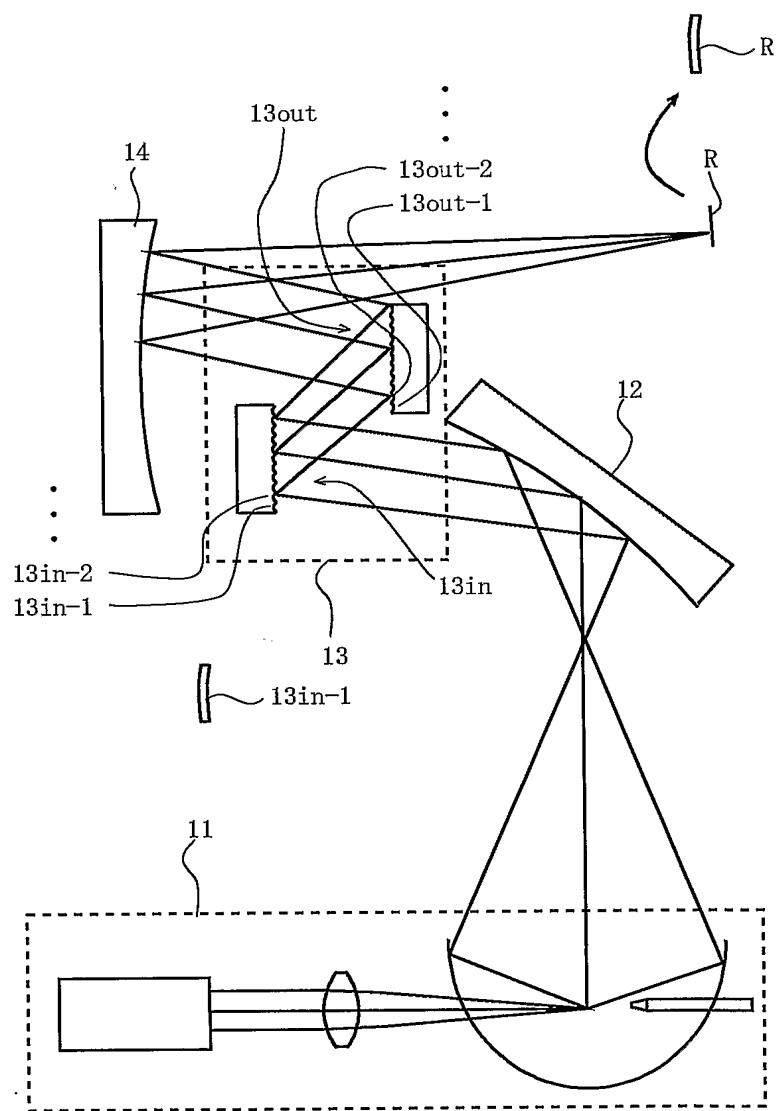
ことを特徴するマイクロデバイスの製造方法。

(51) 請求項45～請求項49の何れか一項に記載の投影露光装置の調整方法を用いて投影露光装置を製造する

ことを特徴とする投影露光装置の製造方法。

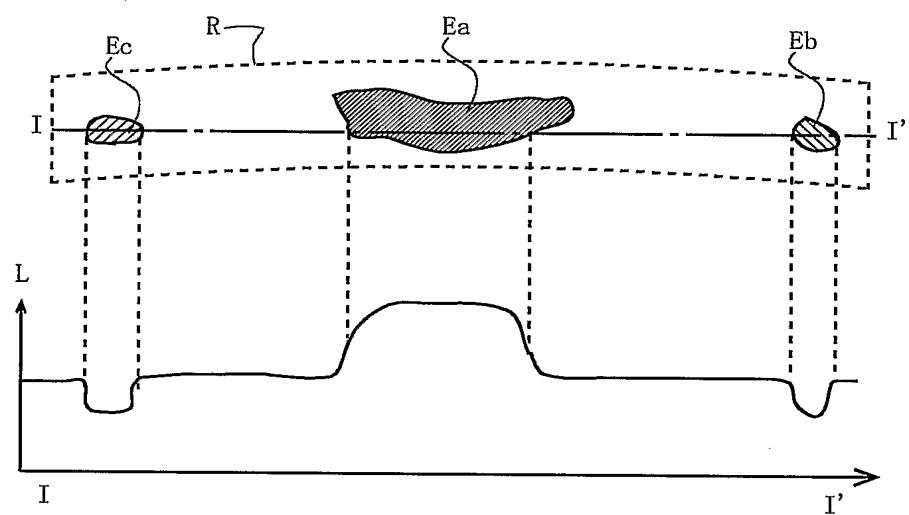
1/33

図1



2/33

図2



3/33

図3

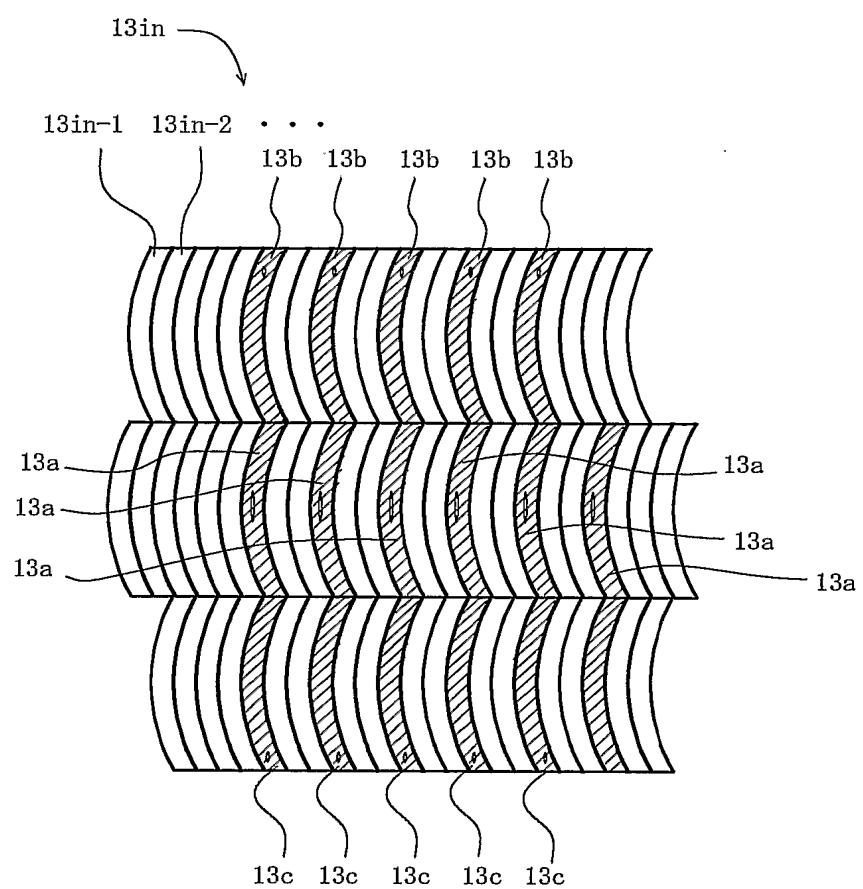


図4

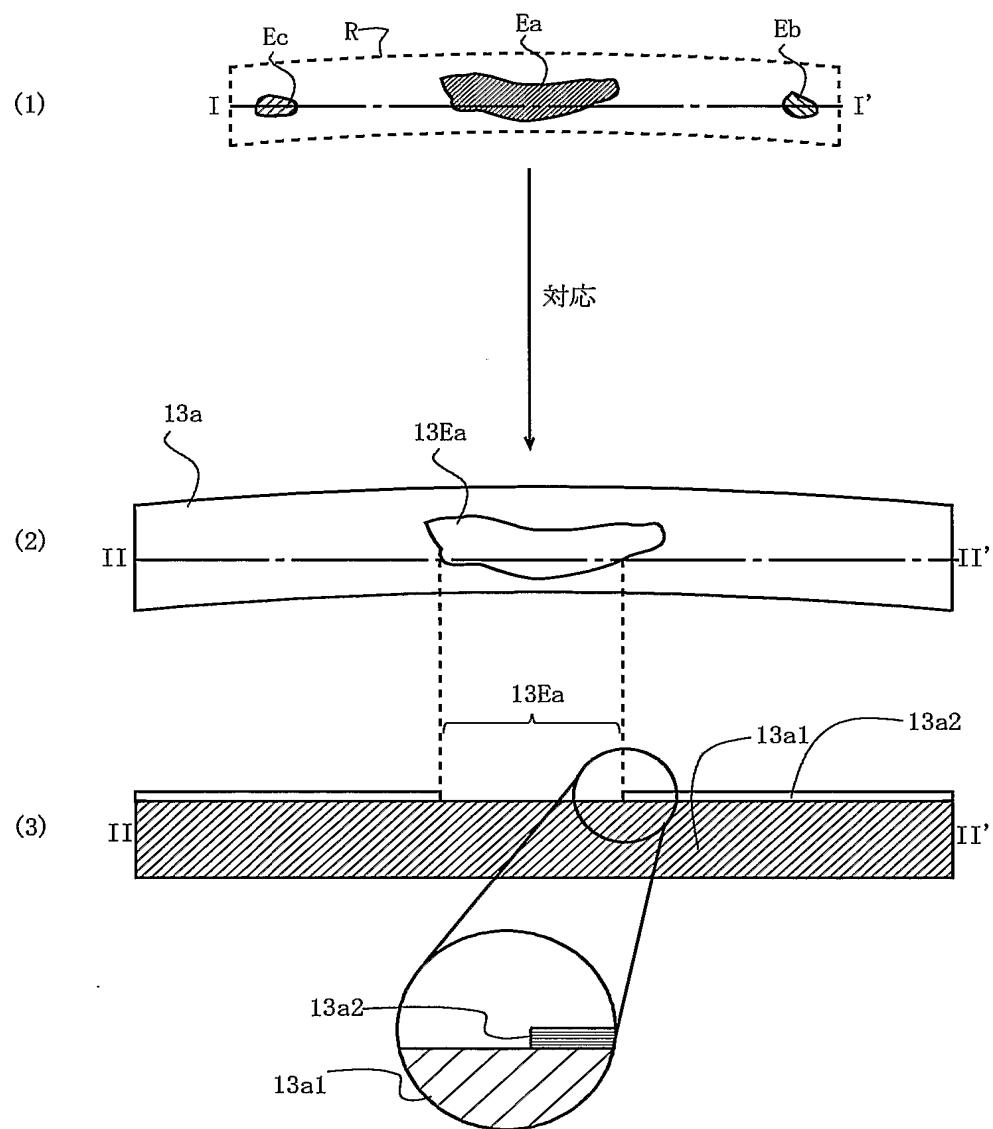


図5

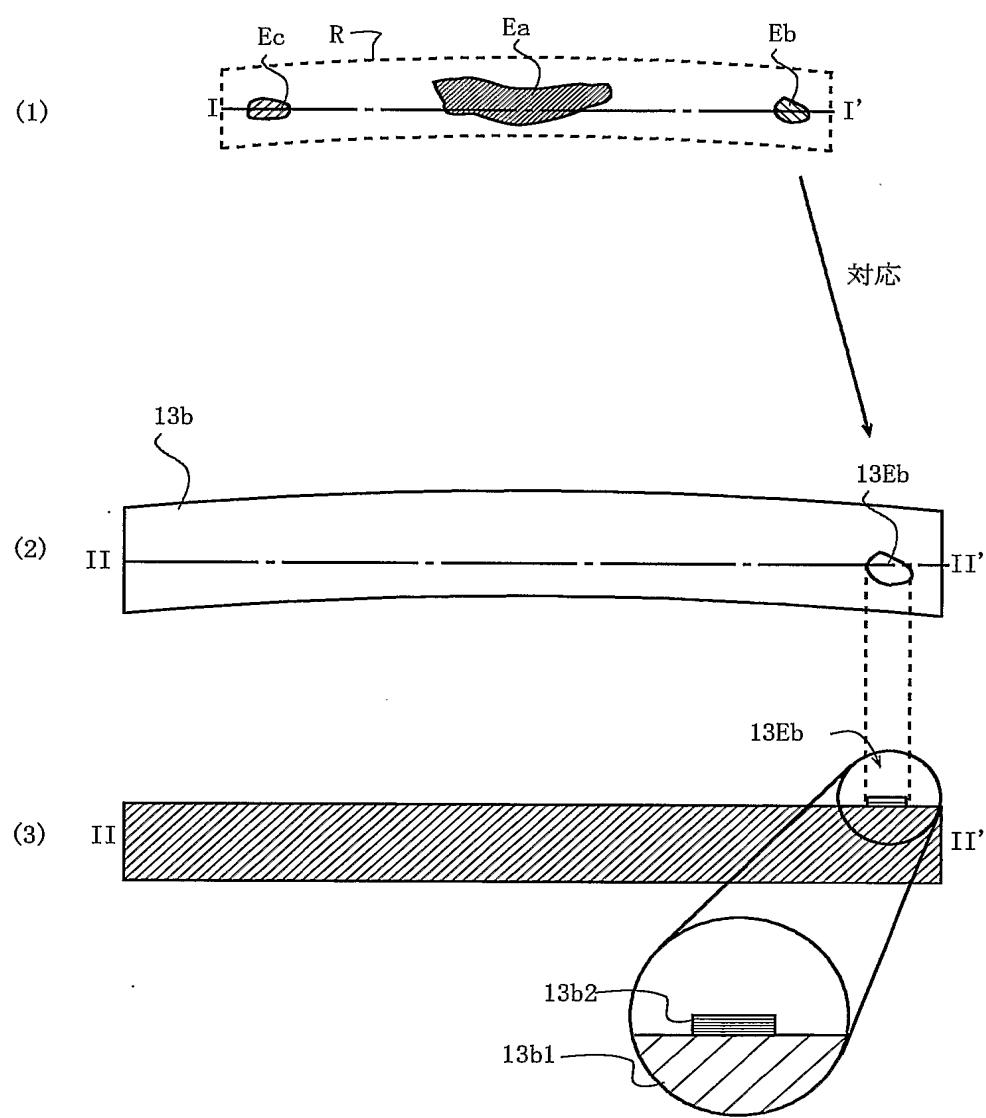


図6

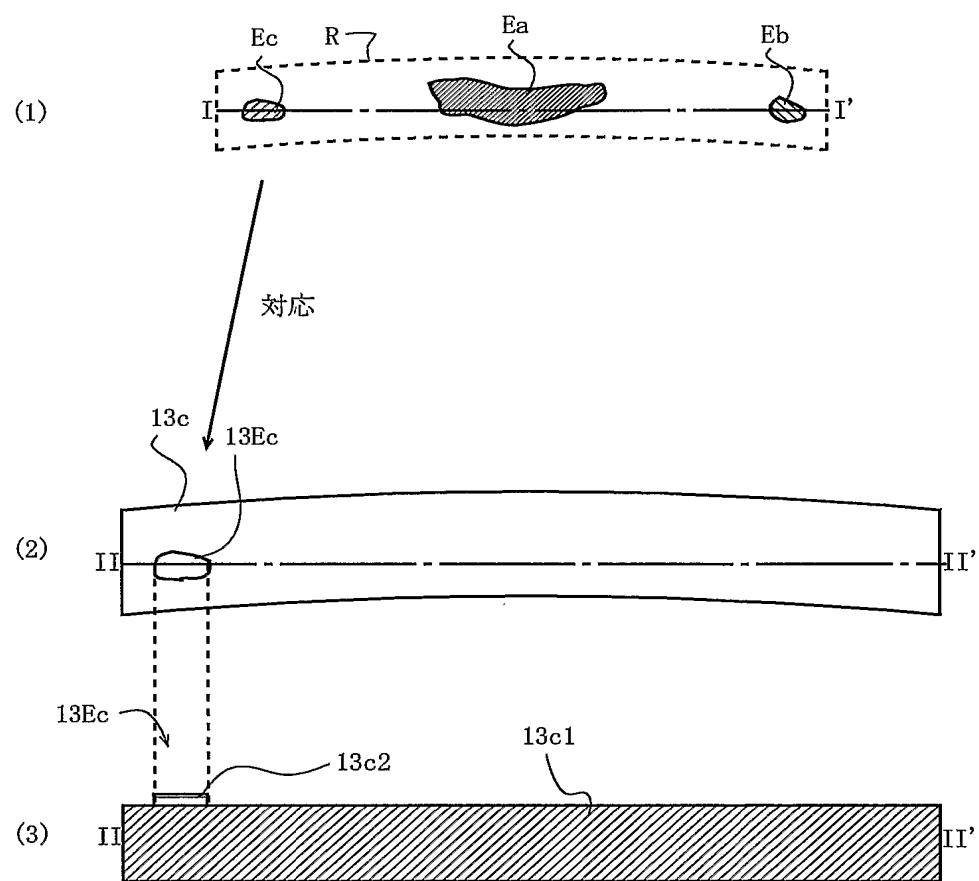
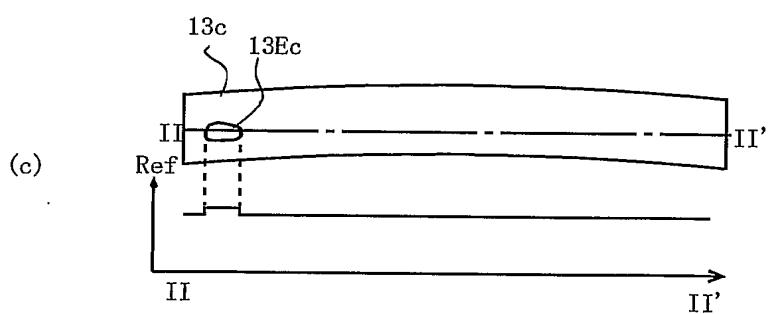
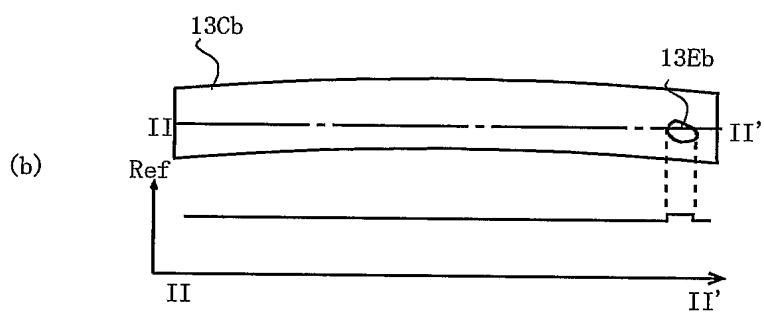
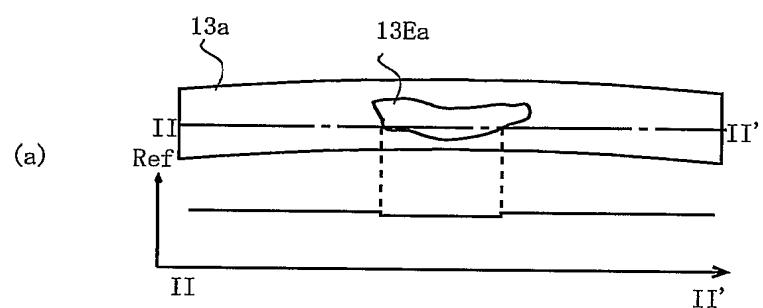


図7



8/33

図8

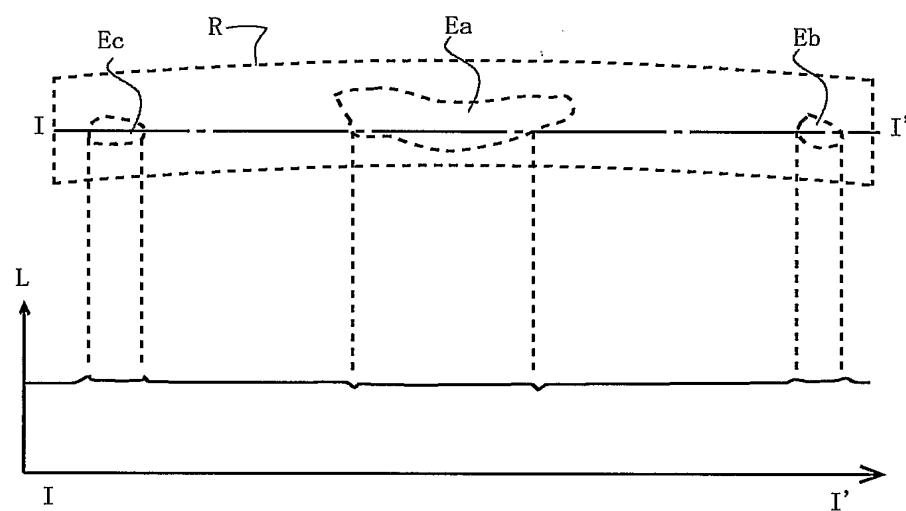
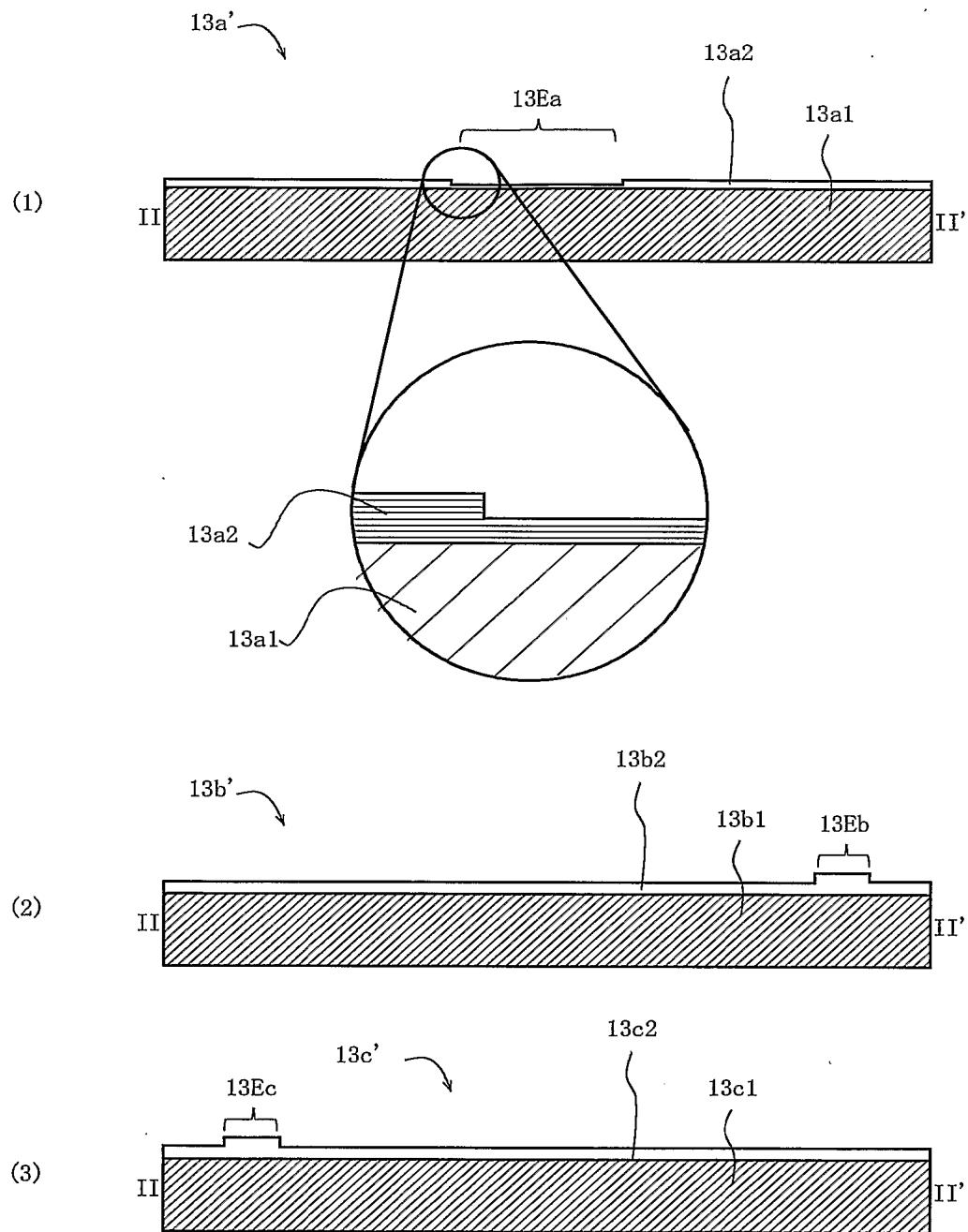
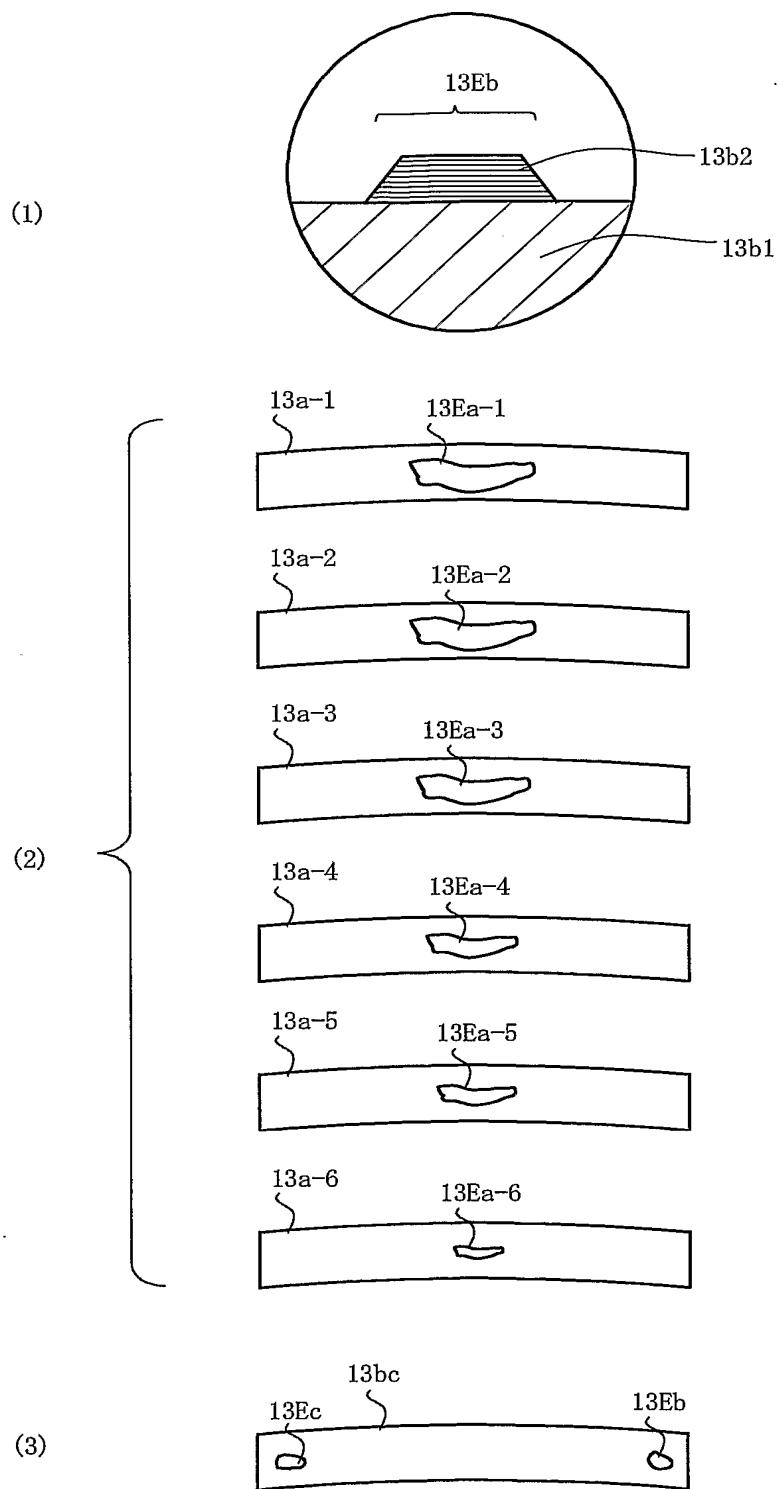


図9



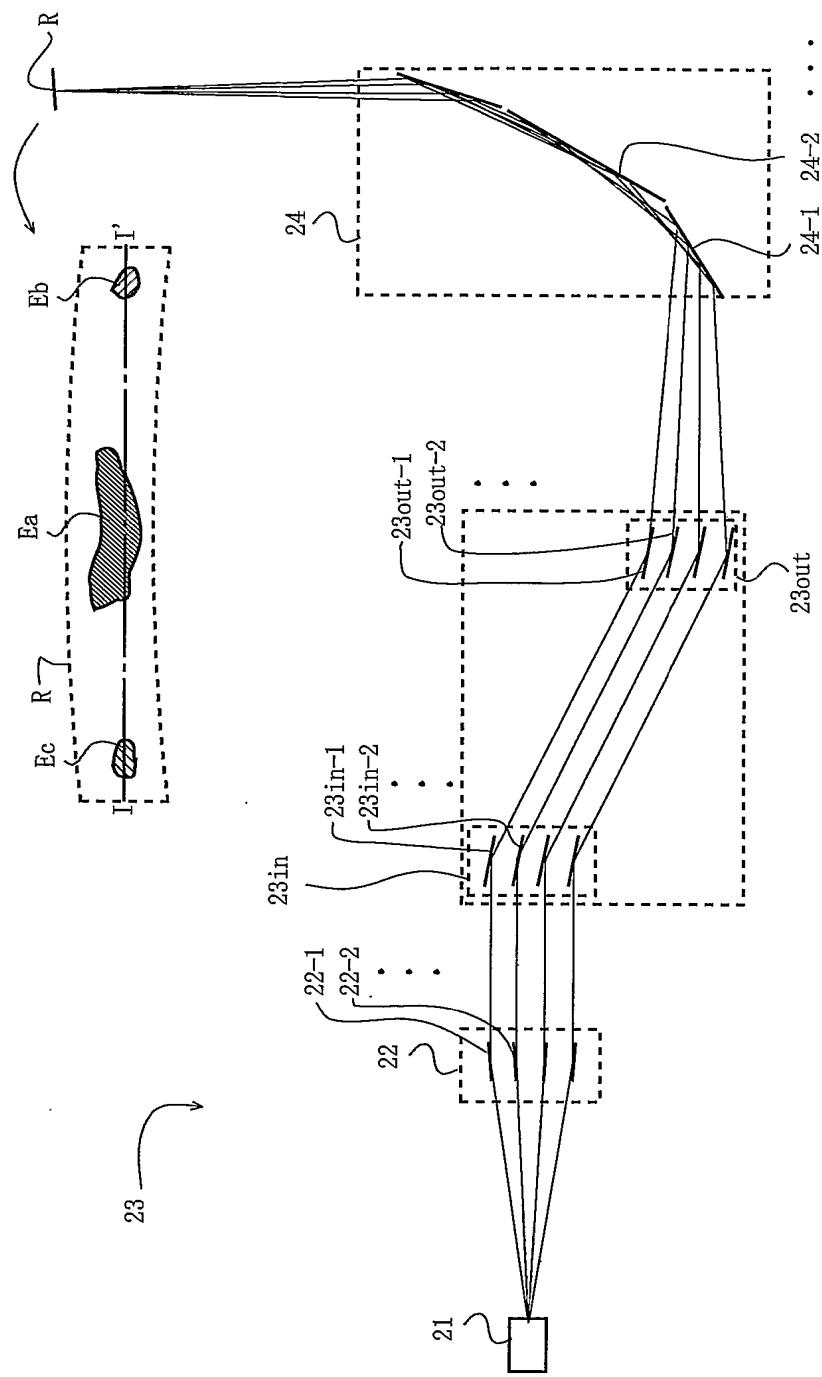
10/33

図10



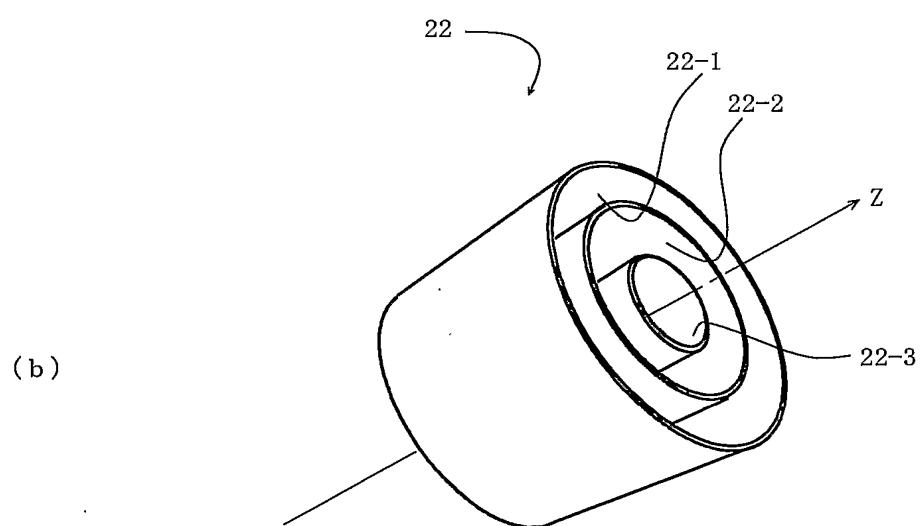
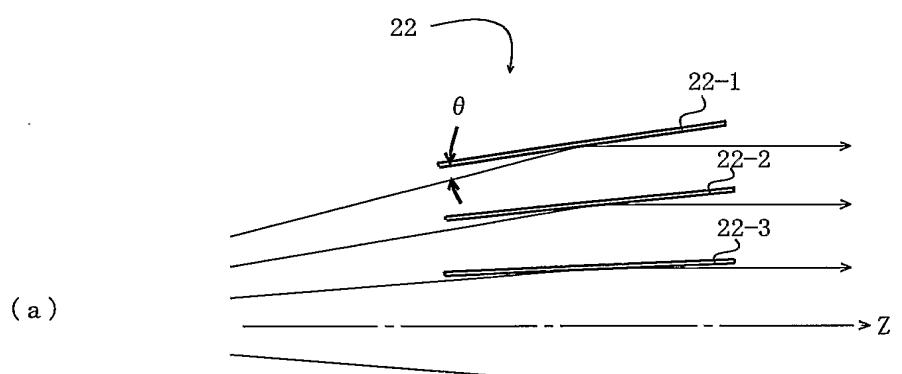
11/33

一一一



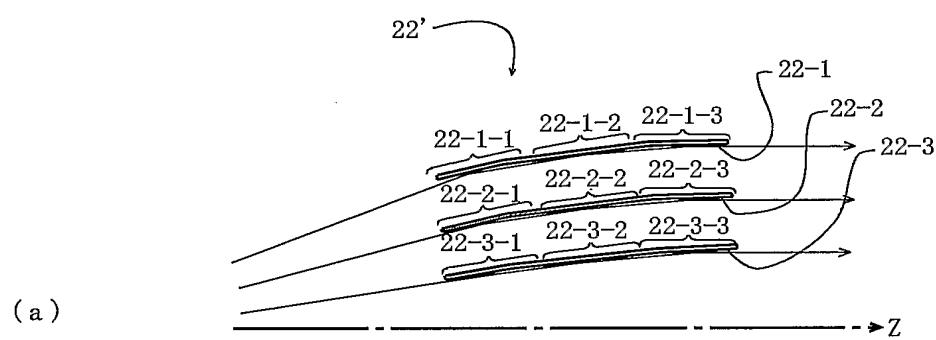
12/33

図12

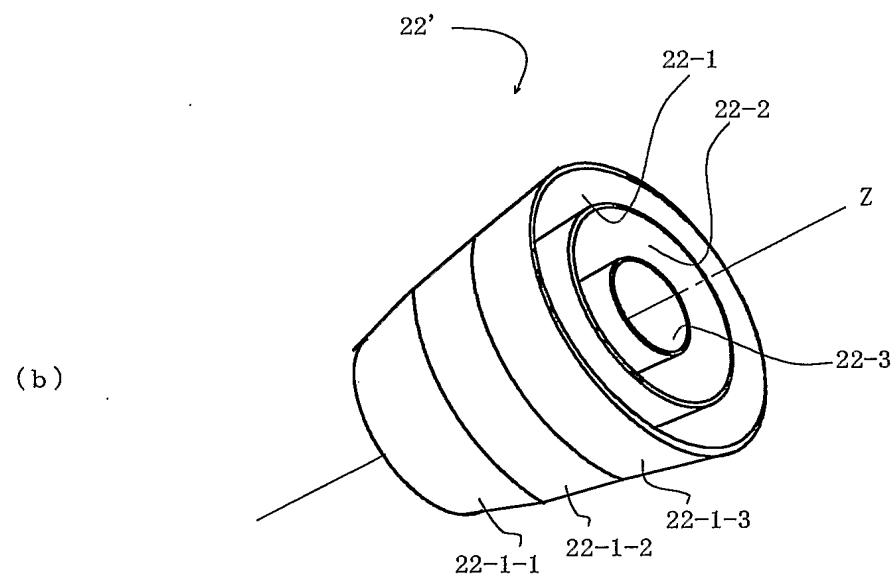


13/33

図13



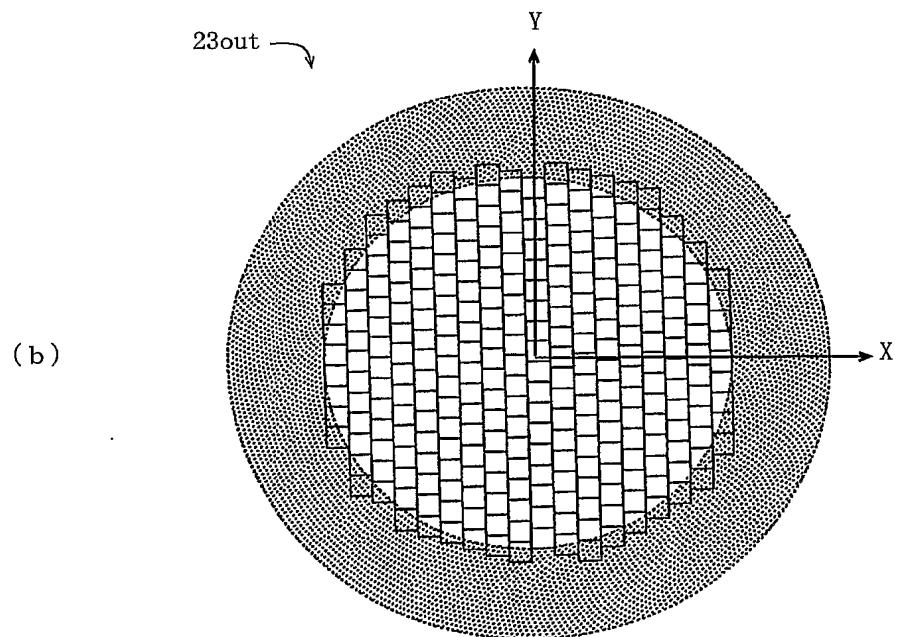
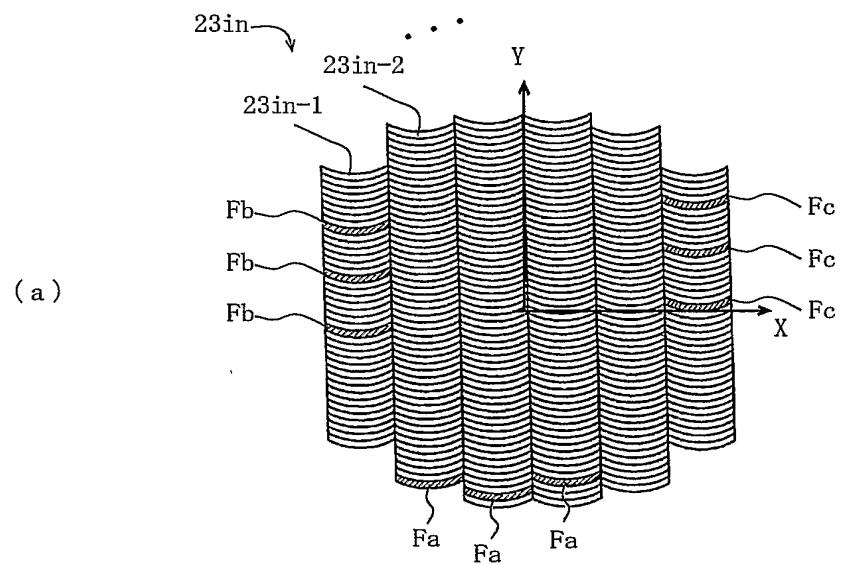
(a)



(b)

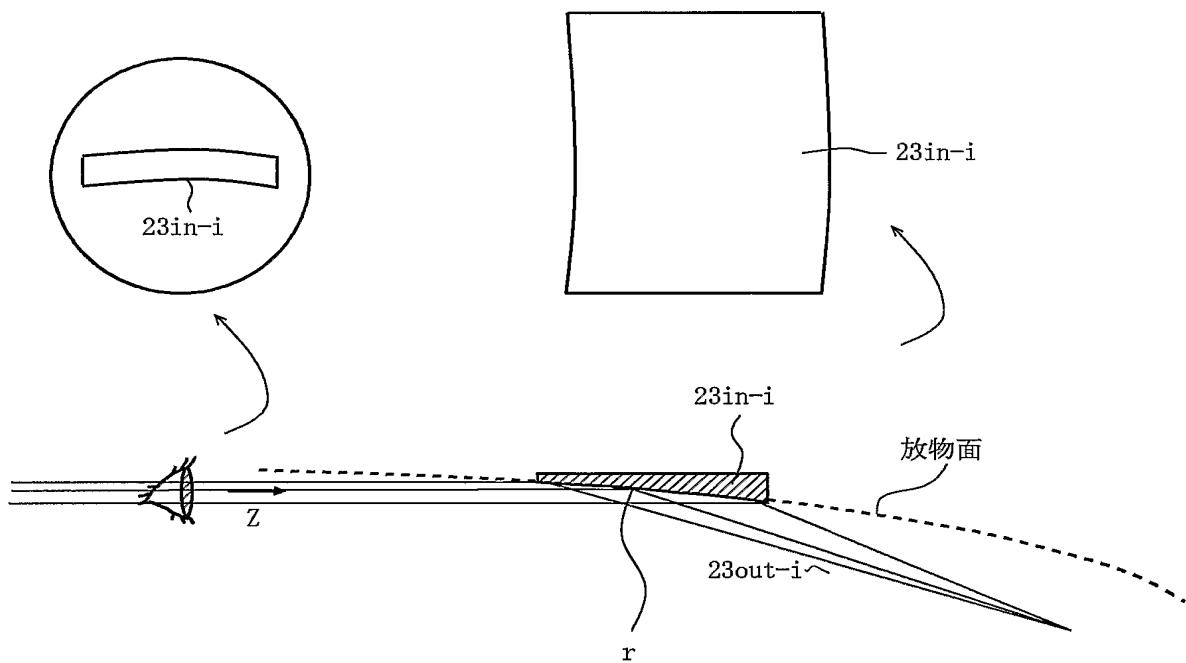
14/33

図14



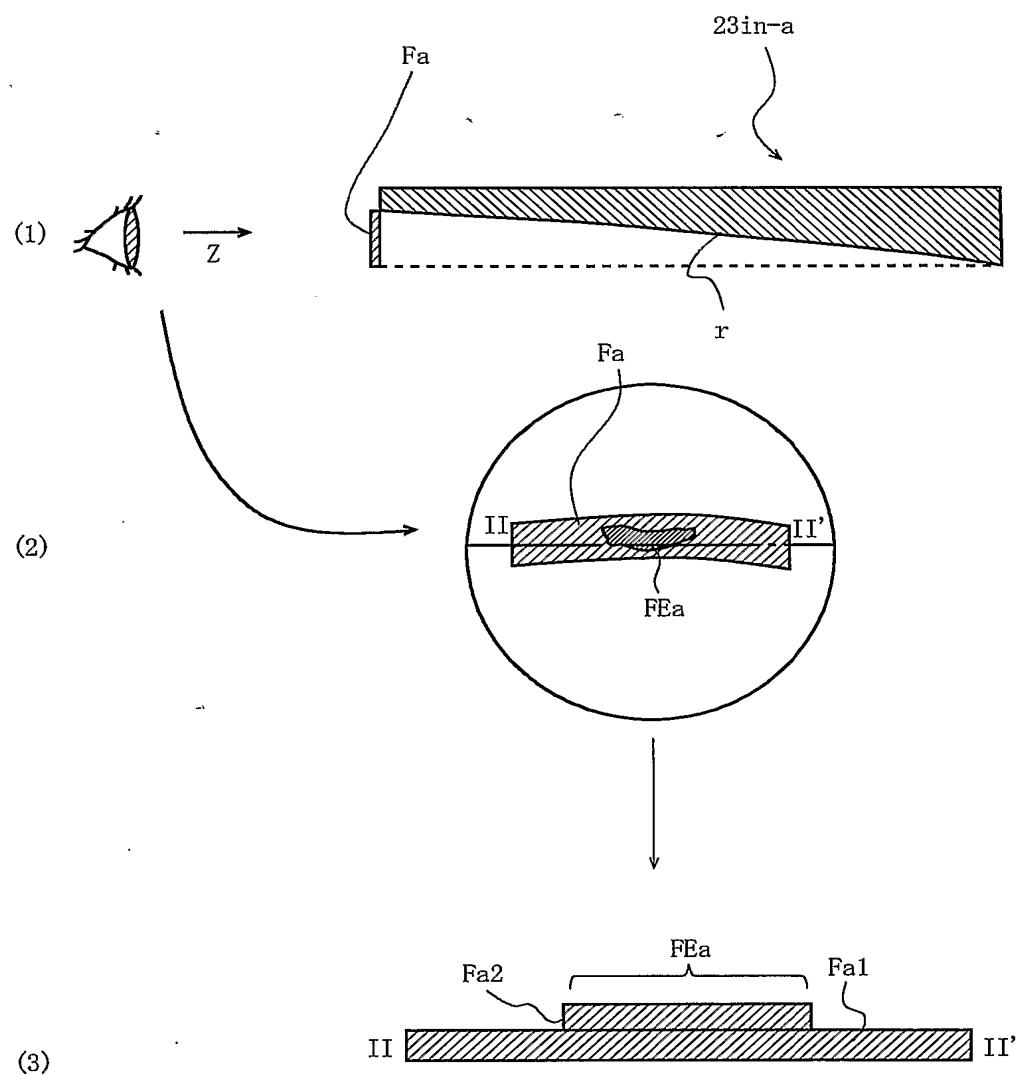
15/33

図15



16/33

図16



☒ 17

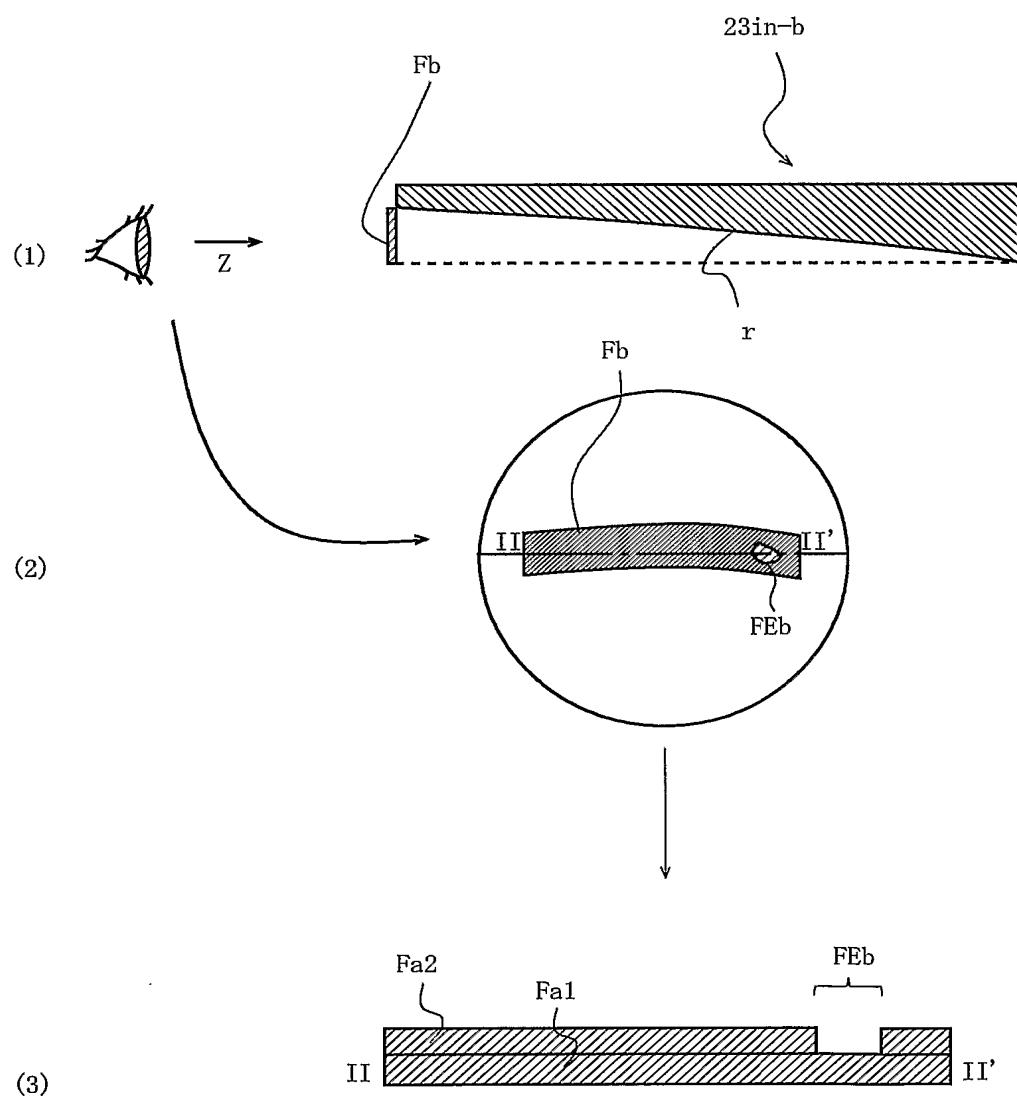


図18

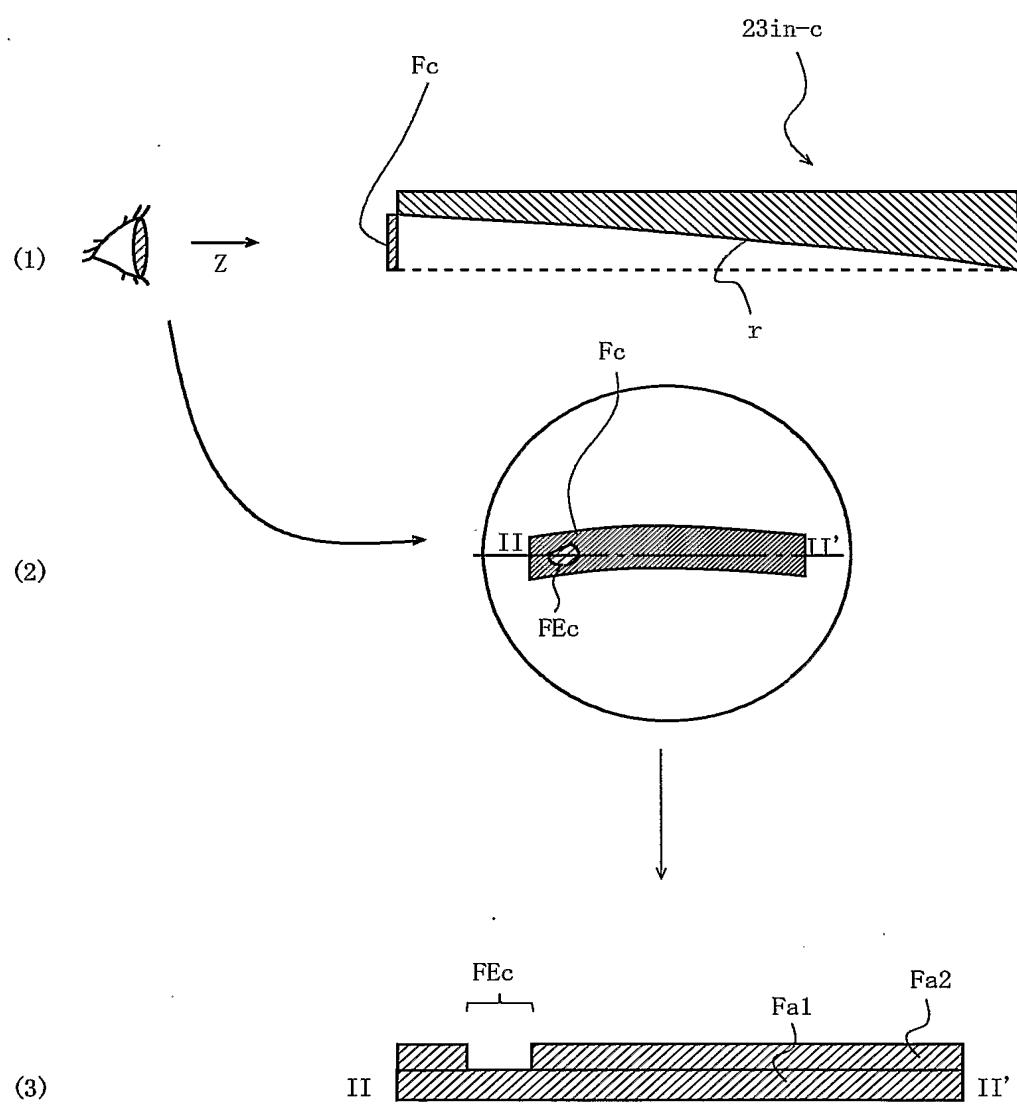


図19

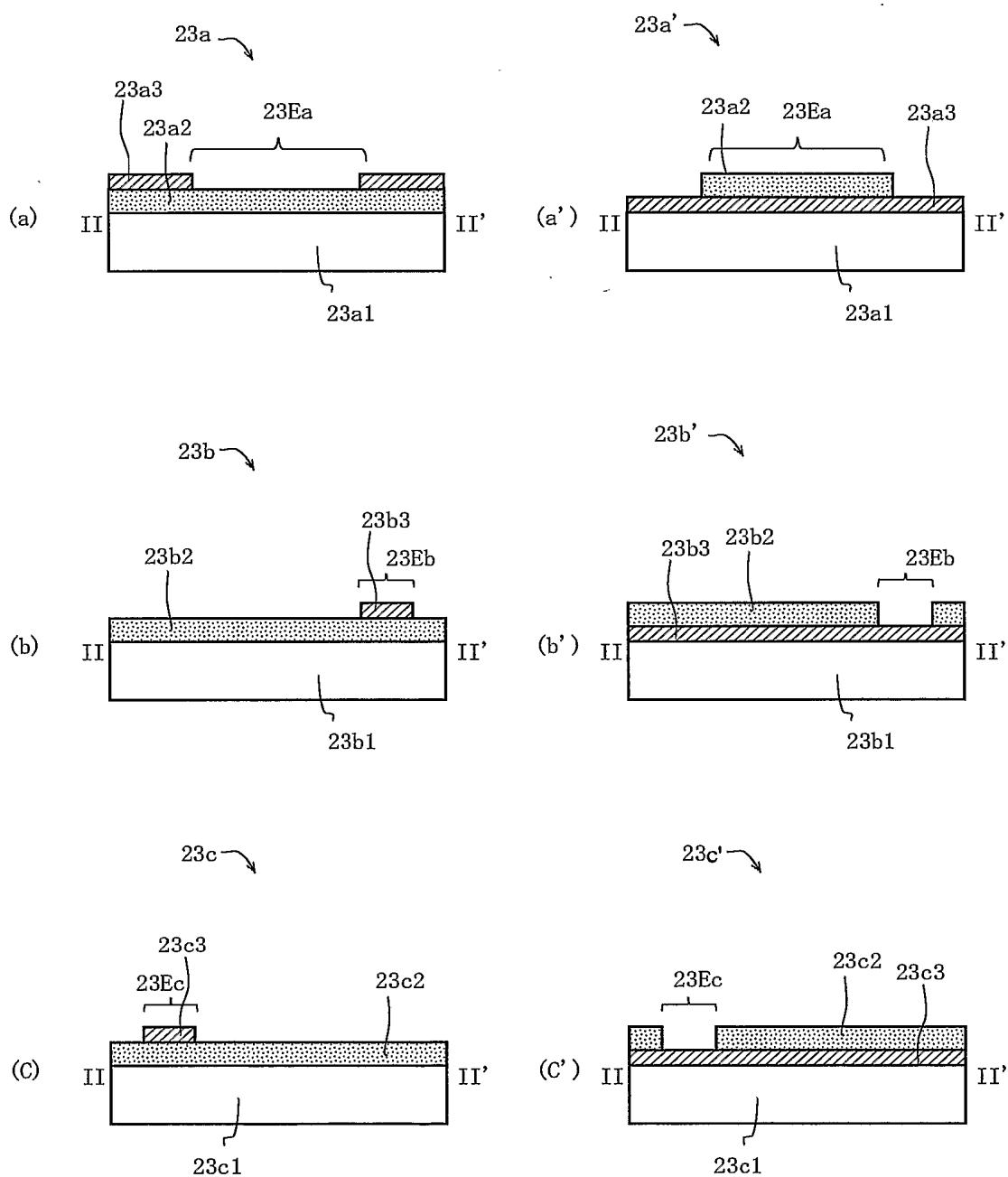
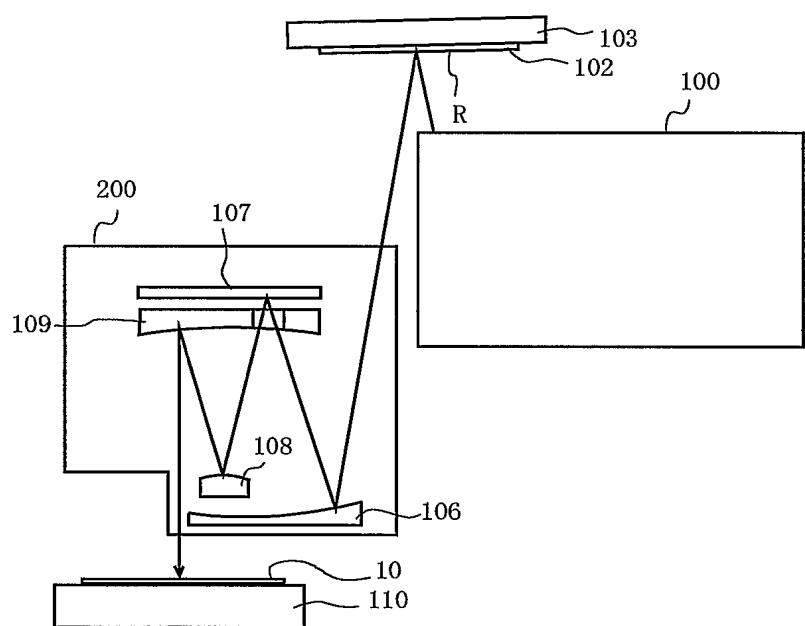
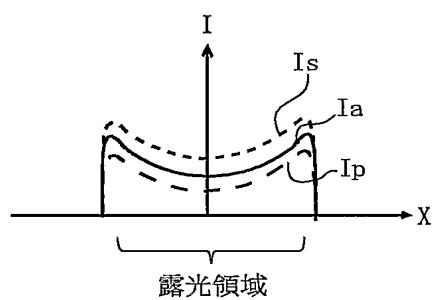


図20



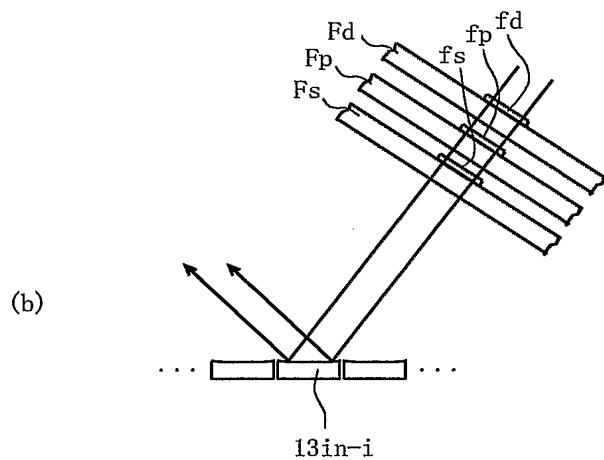
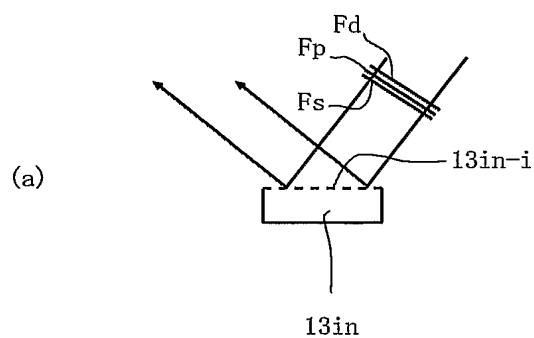
21/33

図21



22/33

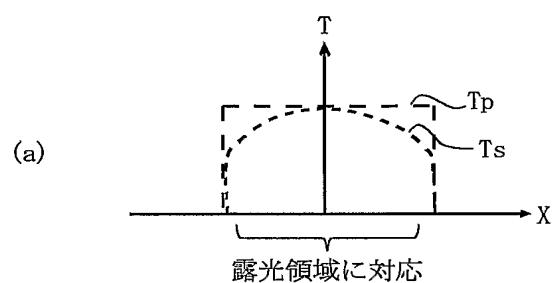
図22



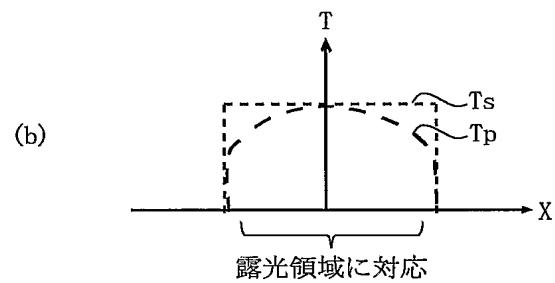
23/33

図23

フィルタ部fsの透過率分布



フィルタ部fpの透過率分布



フィルタ部fdの透過率分布

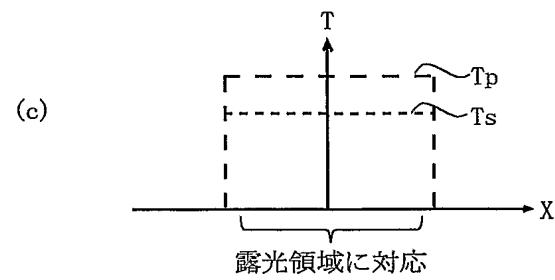


図24

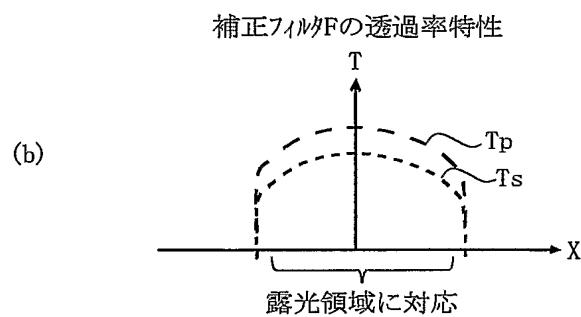
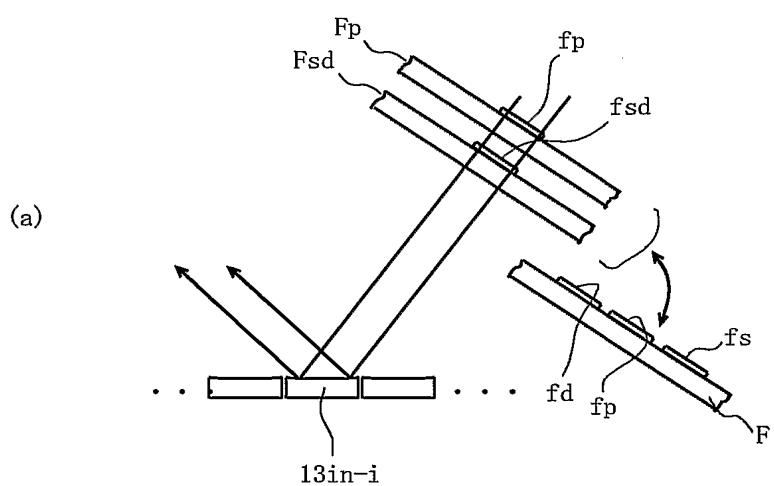


図25

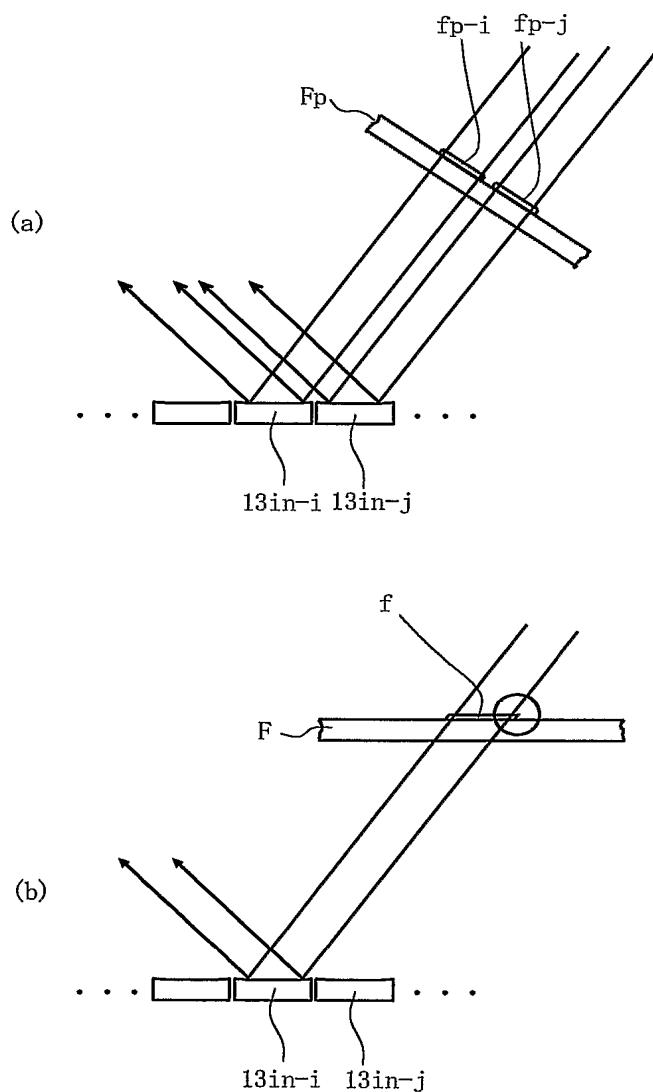


図26

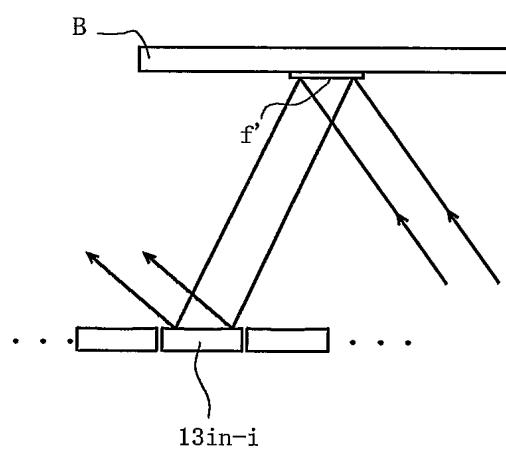


図27

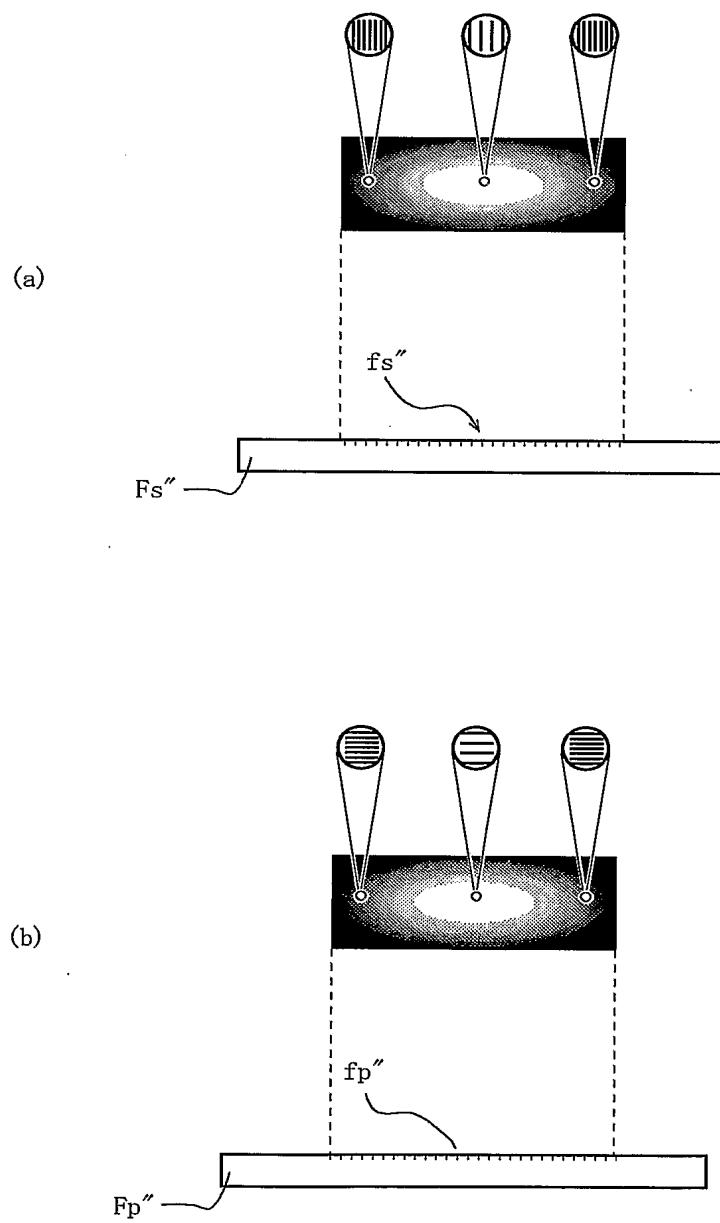
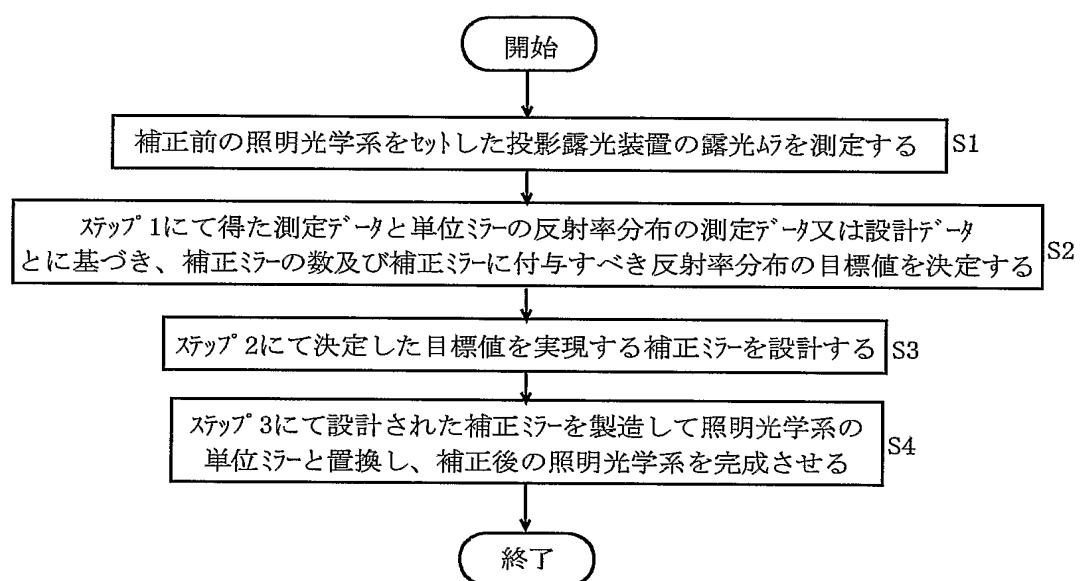
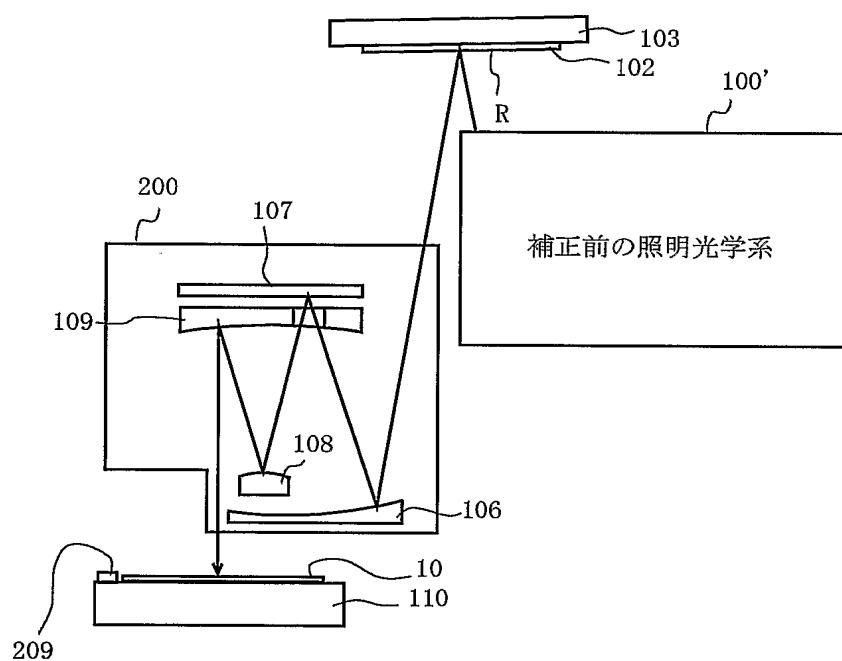


図28

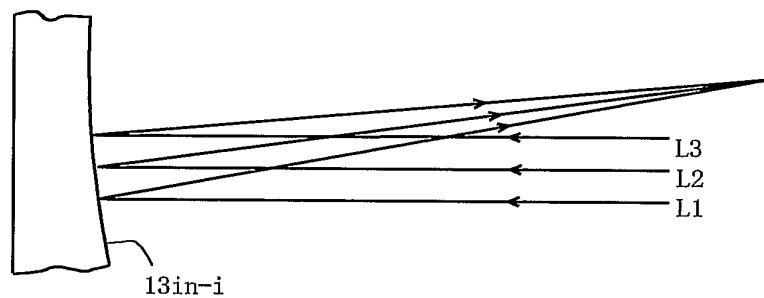


四 29



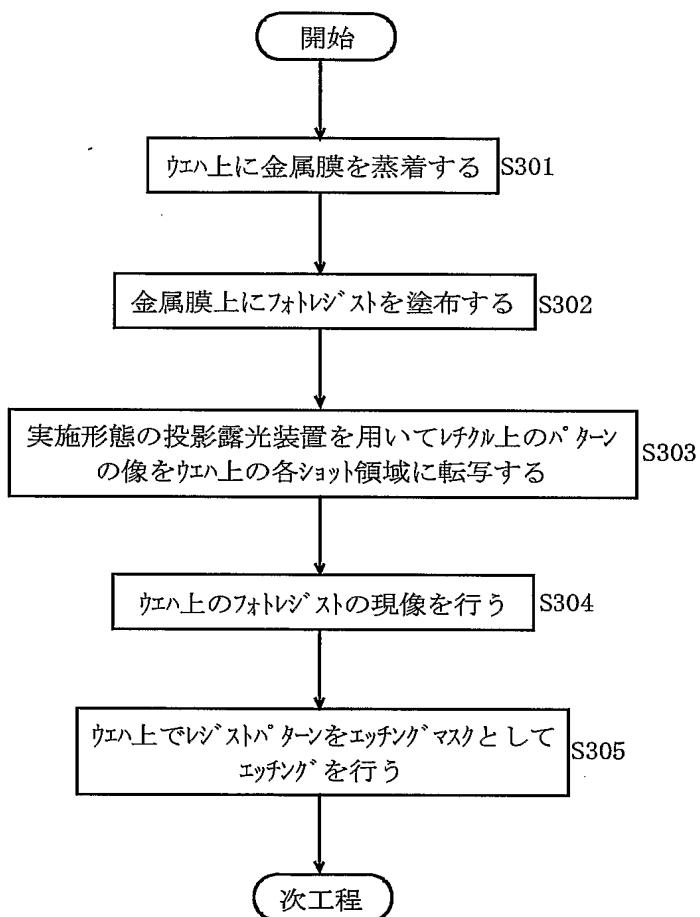
30/33

図30



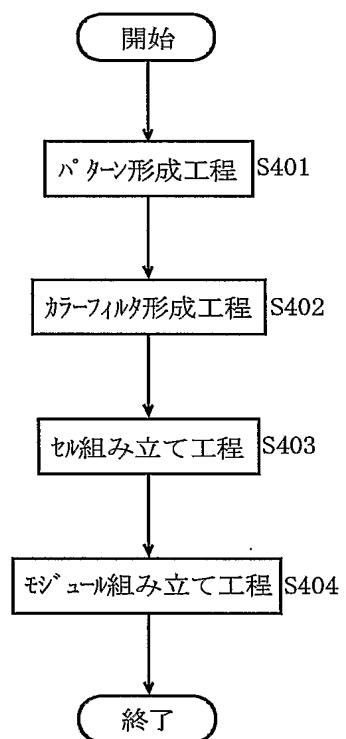
31/33

図31



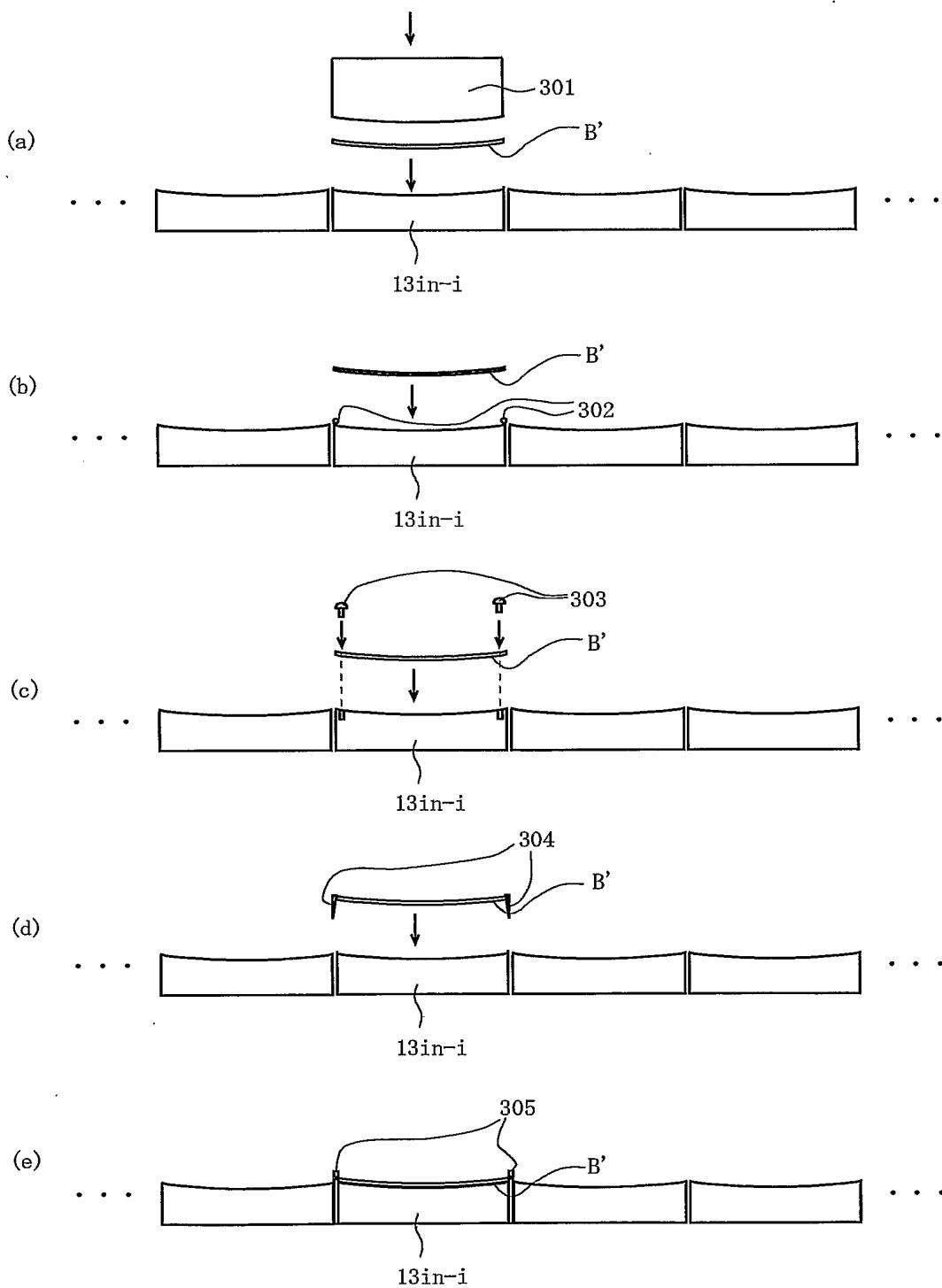
32/33

図32



33/33

図33



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/006416

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20, G21K1/06, G21K5/02, G02B5/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20, G21K1/06, G21K5/02, G02B5/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2003-045784 A (Canon Inc.), 14 February, 2003 (14.02.03), Par. Nos. [0033] to [0099]; all drawings & JP 2003-045774 A & US 2003/0031017 A1 & EP 1280008 A2	22-29, 34, 35
A	WO 00/57459 A1 (Nikon Corp.), 28 September, 2000 (28.09.00), Claims & AU 200029406 A	1-14, 34, 35
A	JP 2001-244168 A (Nikon Corp.), 07 September, 2001 (07.09.01), Par. No. [0170] (Family: none)	1-14, 34, 35

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E"	earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&"	document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
03 August, 2004 (03.08.04)

Date of mailing of the international search report
24 August, 2004 (24.08.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/006416

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-162414 A (Nikon Corp.), 16 June, 2000 (16.06.00), Page 1 (Family: none)	1-14, 34, 35
A	JP 2000-162415 A (Nikon Corp.), 16 June, 2000 (16.06.00), Page 1 (Family: none)	1-14, 34, 35

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/006416

Continuation of Box No.II-2 of continuation of first sheet(2)

generated by non-uniform light intensity distribution of polarized light". Furthermore, even considering the technical common sense at the time of application, no specific configuration of the correction means is known. Accordingly, these claims are extremely unclear.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/006416

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.: 15-21, 30-33, 36-51
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
The Description does not describe a specific configuration such as structure of a correction filter having a non-uniform transmittance distribution of polarized light as correction means "for correcting illumination irregularities (Continued to extra sheet)
3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
 No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20, G21K1/06, G21K5/02, G02B5/08

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20, G21K1/06, G21K5/02, G02B5/08

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1926-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2003-045784 A(キヤノン株式会社) 2003.02.14 【0033】-【0099】全図 & JP 2003-045774 A & US 2003/0031017 A1 & EP 1280008 A2	22-29, 34, 35
A	WO 00/57459 A1(株式会社ニコン) 2000.09.28 請求の範囲 & AU 200029406 A	1-14, 34, 35
A	JP 2001-244168 A(株式会社ニコン) 2001.09.07 【0170】(ファミリーなし)	1-14, 34, 35

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
- 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
- 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献(理由を付す)
- 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
- 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
- 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
- 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
- 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

03.08.2004

国際調査報告の発送日

24.8.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官(権限のある職員)

岩本 勉

2M 9355

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

C (続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2000-162414 A(株式会社ニコン) 2000.06.16 第1頁 (ファミリーなし)	1-14, 34, 35
A	JP 2000-162415 A(株式会社ニコン) 2000.06.16 第1頁 (ファミリーなし)	1-14, 34, 35

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. 請求の範囲 15-21, 30-33, 36-51 は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
明細書には、「偏光光の不均一な光強度分布により発生する照明ムラを補正する」補正手段として、偏光光の不均一な透過率分布を有する補正用フィルタの構造などの具体的な構成が記載されていない。さらに、出願時の技術常識を勘案しても、前記補正手段の具体的構成が不明であるから、当該請求の範囲は著しく不明確である。
3. 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

1. 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。